

**UNIVERSIDAD NACIONAL
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA"
DE AMAZONAS**



18 JUN 2014

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PRODUCCIÓN DE COMPOST UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS
PRODUCIDOS EN EL CAMAL MUNICIPAL Y VIVIENDAS URBANAS
APLICANDO LOS MÉTODOS TAKAKURA Y EM-COMPOST EN EL
DISTRITO DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

Bach. ROBERTH ESTEVE ILIQUÍN FERNÁNDEZ

ASESOR:

Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

CO-ASESOR

Ing. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN

CHACHAPOYAS - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



18 JUN 2014

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

PRODUCCIÓN DE COMPOST UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS
PRODUCIDOS EN EL CAMAL MUNICIPAL Y VIVIENDAS URBANAS
APLICANDO LOS MÉTODOS TAKAKURA Y EM-COMPOST EN EL
DISTRITO DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR

BACH. ROBERTH ESTEVE ILIQUÍN FERNÁNDEZ

ASESOR

Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

CO-ASESOR

Ing. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN

CHACHAPOYAS - AMAZONAS

2014

DEDICATORIA

A mis padres: Wilson y Amparito por su confianza, afecto, sacrificio, apoyo y sus sabios consejos que me brindan día a día para cumplir mis objetivos.

Con todo mi amor y gratitud a mis hermanos: Greassys, Catherin, Betsy, Frank y Gerald quienes representan el principal motivo de mi constante superación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por iluminar mi camino y dirigirme hasta donde estoy ahora. Por permitirme terminar el presente trabajo de investigación, y cumplir una de las metas que tengo propuestas.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, en especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por la calidad educativa que nos entregaron en nuestro periodo de formación.

A mi asesor, el Ing. Polito Michael Huayama Sopla, Docente Contratado de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, y a mi Co-asesor, el Ing. Oscar Mitchel Jara Alarcón, docente Asociado de la misma institución; por ser unos grandes educadores e investigadores y por sus valiosas sugerencias para realizar el presente proyecto de tesis y en la redacción del informe final.

A la municipalidad provincial de Chachapoyas, y en especial a la Gerencia del Medio Ambiente y Servicios Públicos, por su apoyo en el presente trabajo y en la realización de la presente tesis.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

Rector

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN

Vicerrector Académico

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZAN

Vicerrector Administrativo

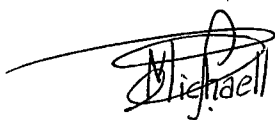
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“PRODUCCIÓN DE COMPOST UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS EN EL CAMAL MUNICIPAL Y VIVIENDAS URBANAS APLICANDO LOS MÉTODOS TAKAKURA Y EM-COMPOST EN EL DISTRITO DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS”** presentada por el Bachiller **ROBERTH ESTEVE ILIQUÍN FERNÁNDEZ**, Egresado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-Amazonas, dando el visto bueno y comprometiéndome a orientarlos en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.



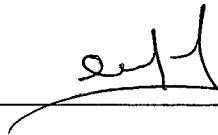
Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

Profesor Contratado TC UNTRM-Amazonas

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

El docente de la UNTRM-Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“PRODUCCIÓN DE COMPOST UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS EN EL CAMAL MUNICIPAL Y VIVIENDAS URBANAS APLICANDO LOS MÉTODOS TAKAKURA Y EM-COMPOST EN EL DISTRITO DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS”** presentada por el Bachiller **ROBERTH ESTEVE ILIQUÍN FERNÁNDEZ**, Egresado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-Amazonas, dando el visto bueno y comprometiéndome a orientarlos en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.




Ing. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN

Profesor Asociado DE UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR



Ing. Ms. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ
PRESIDENTE



ING. MANUELITO EFRAIN CASTRO ALAYO
SECRETARIO



ING. MEREGILDO SILVA RAMIREZ
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE Ingeniería y Ciencias Agrarias

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 17 de Junio del año 2014, siendo las 14.00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. Mac Antonio Fernando Jari

Secretario: Ing. Roberto Fernando Alayo

Vocal: Ing. Felipe de Jesús Rodríguez

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Roberta Ester Illeguán Inca

titulado Producción de compost a partir de residuos orgánicos

producido en el Centro de Investigación y Desarrollo Agrario ubicado en el campus de Chachapoyas de la UNTRM.

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN () DESAPROBACIÓN () por mayoría () por unanimidad (); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNTRM.

Siendo las 15.30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE



Form6- T

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR	v
JURADO EVALUADOR	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Residuos sólidos urbanos.....	2
1.2. Realidad nacional y regional	5
1.3. Manejo de residuos sólidos en Chachapoyas.....	9
1.3.1. Residuos sólidos domiciliarios	10
1.3.2. Residuos sólidos no domiciliarios	11
1.4. Residuos orgánicos	13
1.5. Compostaje	15
1.6. Evaluación de la calidad de compost.....	35
1.7. Métodos de compostaje eficaces.....	9

II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	48
2.1. Lugar de experimentación	48
2.2. Residuos orgánicos	48
2.3. Instalación de las camas composteras	48
2.4. Llenado y acondicionamiento de las camas composteras	49
2.5. Proceso de activación del Em-compost	50
2.6. Proceso de activación del método Takakura	51
2.7. Aplicación de los métodos activados a las camas composteras	52
2.7.1. Método Takakura	52
2.7.2. Método Em-compost	52
2.8. Análisis fisicoquímico en el proceso de compostaje	52
2.8.1. Análisis en campo	53
2.8.2. Análisis en laboratorio	53
2.9. Cosecha del bioabono	55
2.10. Diseño experimental para determinar estadísticamente el mejor método de compostaje	55
III. RESULTADOS	57
3.1. Tiempos de maduración del compost	57
3.2. Rendimiento	58
3.3. Características fisicoquímicas en el proceso de compostaje	58
3.3.1. Color	58
3.3.2. Olor	58
IV. DISCUSIÓN	60

V. CONCLUSIONES	66
VI. RECOMENDACIONES	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación de residuos sólidos domiciliarios según Región en el 2011.....	6
Tabla 2. Total de Residuos Sólidos generados en el Perú (2010-2011).	7
Tabla 3. Composición de residuos sólidos en el Perú.....	8
Tabla 4. Generación per-cápita de residuos sólidos en Chachapoyas	10
Tabla 5. Cantidad de residuos de estiércol generados en el camal municipal.....	13
Tabla 6. Parámetros de calidad del compost.....	37
Tabla 7. Parámetros claves para la certificación de calidad de un compost.....	38
Tabla 8. Diferencias entre producción de compost con EM y un compost tradicional ...	47
Tabla 9. Esquema experimental de los tratamientos.....	56
Tabla 10. Tiempo de maduración del compost, según método aplicado.....	57
Tabla 11. Rendimiento (%) del compostaje según el método aplicado.....	58
Tabla 12. Resultado de los análisis evaluados en el proceso de compostaje.....	59
Tabla 13. Composición de los residuos utilizados en el proceso.....	77
Tabla 14. Comportamiento del pH aplicando el método Takakura.....	96
Tabla 15. Comportamiento del pH con el método Em-compost	97
Tabla 16. Comportamiento del pH con el testigo	98
Tabla 17. Comportamiento de la temperatura con el método Takakura	100
Tabla 18. Comportamiento de la temperatura con el método Em-compost	101
Tabla 19. Comportamiento de la temperatura en el testigo	102
Tabla 20. Variable dependiente. Tiempo de maduración	104
Tabla 21. Tiempo de maduración	105
Tabla 22. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje con el método Takakura.....	106
Tabla 23. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje con el	

método Em-compost 107

Tabla 24. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje en el
testigo 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de residuos sólidos de la región Amazonas en el año 2011	9
Figura 2. Composición de residuos sólidos domiciliarios en Chachapoyas	11
Figura 3. Composición de los residuos sólidos en el mercado de Yance	12
Figura 4. Esquema del proceso de compostaje.....	17
Figura 5. Evolución de la temperatura del compostaje en pilas estáticas (a) y pilas volteadas (b)	22
Figura 6. Variación del pH en el proceso de compostaje	26
Figura 7. Evolución característica de la relación C/N durante el proceso de compostaje	31
Figura 8. El compostaje y la transición de los microorganismos	42
Figura 9. Diseño y distribución de las camas composteras	48
Figura 10. Flujograma para la obtención de composte semilla para el método Takakura	51
Figura 11. Cantidad de residuos aplicados en las camas experimentales	78
Figura 12. Balance de materia para la obtención de 1000 m ³ de bioabono a partir de residuos y estiércol aplicando método Takakura	91
Figura 13. Balance de materia para la obtención de 1000 m ³ de bioabono a partir de residuos y estiércol aplicando el método Em-compost.....	92
Figura 14. Balance de materia para la obtención de 1000 m ³ de bioabono a partir de residuos y estiércol (testigo).	93
Figura 15. Comportamiento del pH con método Takakura.	97
Figura 16. Comportamiento del pH con Em-compost.....	98
Figura 17. Comportamiento del pH en el testigo.....	99
Figura 18. Comportamiento de la temperatura en el método Takakura	101
Figura 19. Comportamiento de la temperatura con el método Em-compost	102
Figura 20. Comportamiento de la temperatura en el testigo.....	103

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Localización de las camas experimentales en el centro de compostaje de la Municipalidad - Chachapoyas.....	119
Fotografía 2. Terreno donde se construyeron las camas experimentales	119
Fotografía 3. Construcción de camas experimentales	119
Fotografía 4. Camas experimentales para el testigo	120
Fotografía 5. Camas experimentales culminadas	120
Fotografía 6. Llenado de las camas experimentales con cáscaras	120
Fotografía 7. Llenado de las camas experimentales con residuos de frutas	120
Fotografía 8. Llenado de las camas experimentales con estiércol de ganado.....	120
Fotografía 9. Remoción de residuos para el compostaje	120
Fotografía 10. Camas experimentales llenadas de residuos para el compostaje	121
Fotografía 11. Camas experimentales cubiertas con aserrín.....	121
Fotografía 12. Materiales utilizados para solución de fermentación del método Takakura.....	121
Fotografía 13. Residuos de frutas y hortalizas utilizados para solución de fermentación mezcla A.....	121
Fotografía 14. Agregado de agua a mezcla A.....	121
Fotografía 15. Agregado de sal a mezcla A.....	121
Fotografía 16. Agregado de agua a solución de fermentación mezcla B	122
Fotografía 17. Agregado de guarapo a mezcla B.....	122
Fotografía 18. Agregado de yogurt a mezcla B	122
Fotografía 19. Mezclado de la mezcla	122
Fotografía 20. Colocación de la mezcla B al bidón	122
Fotografía 21. Solución de fermentación: mezcla A y mezcla B.....	122

Fotografía 22. Cama para composte semilla.....	123
Fotografía 23. Materiales para elaboración del composte semilla.....	123
Fotografía 24. Preparación del lecho de fermentación	123
Fotografía 25. Mezcla de materiales del lecho de fermentación	123
Fotografía 26. Mezcla de soluciones de la solución de fermentación	123
Fotografía 27. Preparación del composte semilla.....	123
Fotografía 28. Cubierta de cama del composte semilla.....	124
Fotografía 29. Aparición del moho blanco en el composte semilla.....	124
Fotografía 30. Materiales para activación del Em-compost	124
Fotografía 31. Agregado de la melaza para el Em-compost.....	124
Fotografía 32. Agregado del Em-compost mas el agua.....	124
Fotografía 33. Mezclado de los materiales para la activación del Em-compost.....	124
Fotografía 34. Aplicación de la mezcla Em-compost al bidón con cierre hermético	125
Fotografía 35. Em Activado.....	125
Fotografía 36. Volteo de los residuos	125
Fotografía 37. Aplicación del método Takakura en una relación 1:1	125
Fotografía 38. Primera aplicación del Em-compost	125
Fotografía 39. Cubierta de las camas experimentales.....	125
Fotografía 40. Medición de la temperatura.....	126
Fotografía 41. Colocación de la cinta de pH	126
Fotografía 42. Medición del pH.....	126
Fotografía 43. Remoción de los residuos compostados.....	126
Fotografía 44. Segunda aplicación del método Em,compost.....	126
Fotografía 45. Tamizado para el sacado de las muestras para su analisis	126
Fotografía 46. Pesado de las muestras	127

Fotografía 47. Pesado de las muestras embolsadas	127
Fotografía 48. Muestras listas para su análisis	127
Fotografía 49. Volteo de los residuos	127
Fotografía 50. Aumento del volumen de la pila	127
Fotografía 51. Cubierta de la pila con plástico oscuro	127
Fotografía 52. Preparación para la cosecha del compost.....	128
Fotografía 53. Materiales para el tamizado	128
Fotografía 54. Tamizado del compostaje.....	128
Fotografía 55. Restos de materiales no degradados.....	128
Fotografía 56. Medición del compostaje final	128
Fotografía 57. Ensacado del compost	128
Fotografía 58. Producto final	129
Fotografía 59. Compost de calidad	129

RESUMEN

En la presente investigación se estudió la producción de compost utilizando residuos orgánicos producidos en el camal municipal y viviendas urbanas aplicando los métodos Takakura y Em-compost, para lo cual se recolectaron residuos sólidos urbanos de los hogares de la provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, y residuos provenientes del centro de beneficio municipal (camal municipal), por lo que se tuvo que instalar camas composteras de 1.3 x 0.8 m, en las cuales se agregaron dichos residuos y se aplicaron estos métodos juntamente con una muestra testigo, para un experimento factorial del tipo 3Ax3B bajo un DCA con 3 repeticiones, que permita determinar el tiempo de maduración y el rendimiento y así conocer cuál es el método más efectivo al momento de realizar un compostaje. También se sacaron muestras en días determinados (21, 45, 70 y 223 días) para determinar algunas características fisicoquímicas y lograr ver su comportamiento durante la maduración del compost. Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, se efectuó la prueba de Dunnet al 95 % de confianza, cuyos datos se procesaron en el software SPSS 15.0 para Windows. El mejor tiempo de maduración lo obtuvo un compostaje aplicando el método Takakura con un tiempo promedio de 57.67 días, pero sin diferencia significativa, ya que con el Em-compost se obtuvo un tiempo promedio de 62 días. Además, un mejor rendimiento lo obtuvo un compostaje con el método Em-compost con un 19.90 %, siendo, por lo tanto, éste el más efectivo. Del método Em-compost se obtuvo un compost que tuvo como características fisicoquímicas materia orgánica 23.93%, carbono 13.29%, nitrógeno 1.31%, fósforo 0.54%, relación C/N 10.12, pH 7.5, conductividad eléctrica 5.02 dS/m, humedad 53,77%, densidad aparente 468.37 kg/m³, porosidad 87.98%, espacio de aire libre (FAS) 62.59%, olor a tierra húmeda y color negrizo.

Palabras claves: Compost, residuos sólidos urbanos, Takakura, Em-compost.

ABSTRACT

In the present investigation the production of compost was studied using organic waste produced in the municipal slaughterhouse and urban housing and applying the Em - compost and Takakura composting methods , for which municipal solid waste from households in the province of Chachapoyas, Amazonas Region, were collected and waste from the city center benefit (municipal slaughterhouse) , so had to install composting beds 1.3 x 0.8 m, in which the waste is added and these methods were applied, together with a control sample , for a factorial experiment 3Ax3B under a type of DCA with 3 replications , should determined the period of maturation and performance and thus know what is the most effective at the time of composting method. Samples were taken out on certain days (21, 45, 70 and 223 days) to determine some physicochemical characteristics and achieve see their behavior during maturation of compost. To assess differences between treatment means, Dunnet test was performed at 95 % confidence, the data were processed using SPSS 15.0 software for Windows. The best time of maturation was obtained using the Takakura composting method with an average time of 57.67 days, but no significant difference, as Em - compost with an average time of 62 days was obtained. In addition, better performance was won by a composting method Em - compost with 19.90 %, and therefore, the most effective. Em - compost composting method which had the physicochemical characteristics organic matter 23.93 % , 13.29 % carbon , 1.31 % nitrogen , 0.54 % phosphorus , C / N 10.12, pH 7.5 , electrical conductivity 5.02 dS / m, humidity 53 was obtained , 77%, 468.37 kg/m³ bulk density , porosity 87.98 % , free air space (FAS) 62.59 % , smell of damp earth and black color.

Key words: Compost, Municipal Solid Waste, Takakura, Em - compost.

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de la basura domiciliaria y los residuos sólidos industriales son un problema ambiental relevante en el país. El manejo inadecuado de los residuos sólidos ha acarreado innumerables problemas de índole social, sanitaria y ambiental como la generación de olores, presencia y proliferación de vectores (moscas y ratones), impacto sobre la estética y sobre la salud de la población, especialmente en aquellos lugares donde se vierten residuos en forma incontrolada y clandestina (INTEC, 1999).

Las industrias agropecuarias y agroindustriales generan importantes volúmenes de residuos sólidos y líquidos. En forma creciente han aumentado los costos de disposición de tales residuos lo que ha generado también un incremento de los costos generales de tales empresas. Los residuos sólidos al acumularse y no reincorporarse a la naturaleza en un corto o mediano plazo generan contaminación. La contaminación afecta al suelo, aire, ríos, lagos, mares, plantas, animales y a las personas. Los problemas de salud pública causados por la acumulación de los residuos sólidos urbanos a cielo abierto son numerosos, sin mencionar las graves afectaciones al mismo medio ambiente (Rodríguez y Córdova, 2006).

En nuestro país el tema de los residuos sólidos ha tomado dimensiones sociales, ambientales y económicas expectantes en la calidad de vida, en los patrones de consumo y de producción, y en hacer negocios por su potencial valor económico. Esta percepción multisectorial es recogida en el enfoque que estableció la Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos (LGRS) para el adecuado manejo y gestión de los residuos en un marco institucional que posibilita la sostenibilidad ambiental, la definición de políticas públicas, la articulación de agendas ambientales sectoriales, la formulación orgánica de normas

generales y específicas, y la promoción de la participación del sector privado. En este proceso sistémico e institucional, debe entenderse que residuo sólido es un «producto no intencionado» derivado de las actividades individuales, colectivas y económicas, cuya peligrosidad se evidencia para la sociedad cuando su manejo compromete la salud, el ambiente y el bienestar de la persona.

1.1. Residuos sólidos urbanos

Según la LGRS en su Decreto Supremo N°057-2004-PCM, define a los residuos sólidos como aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos:

- Minimización de residuos
- Segregación en la fuente
- Reaprovechamiento
- Almacenamiento
- Recolección
- Comercialización
- Transporte
- Tratamiento
- Transferencia
- Disposición final

Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales.

Clasificación

La Ley General de Residuos Sólidos clasifica a los residuos sólidos urbanos según su origen:

- **Residuos agropecuarios:** Son aquellos residuos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros.
- **Residuos comerciales:** Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.
- **Residuos domiciliarios:** Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.
- **Residuos de las actividades de construcción:** Son aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y

demolición de obras, tales como: edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otras afines a éstas.

- **Residuos de los establecimientos de atención de salud:** Son aquellos residuos generados en los procesos y en las actividades para la atención e investigación médica en establecimientos como: hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines. Estos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro, tales como: agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos, restos de comida, papeles, embalajes, material de laboratorio, entre otros.
- **Residuos de instalaciones o actividades especiales:** Son aquellos residuos sólidos generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión, complejidad y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como: plantas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras; o de aquellas actividades públicas o privadas que movilizan recursos humanos, equipos o infraestructuras, en forma eventual, como conciertos musicales, campañas sanitarias u otras similares.
- **Residuos de limpieza de espacios públicos:** Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas.

- **Residuos industriales:** Son aquellos residuos generados en las actividades de las diversas ramas industriales, tales como: agroindustrial, manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares. Estos residuos se presentan como: lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papel, cartón, madera, fibras, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.

1.2. Realidad nacional y regional

El Perú es uno de los países que desde el año 1998, con el análisis sectorial, inició el proceso de ordenamiento y actualización de su legislación ambiental y ha seguido dando pasos claros para avanzar en la elaboración y aprobación de normas legales que permitan generar los lineamientos programáticos para la solución de la problemática generada por el deficiente manejo de los residuos sólidos. Es así que el 20 de Julio del 2000 se aprueba la Primera Ley General de Residuos Sólidos (Ley 27314) y cuatro años más tarde, el 24 de Julio del 2004, se aprueba su Reglamento según D.S. 057-2004/PCM, luego el 28 de Junio del 2008 se publicó el D.L. 1065, que modifica la Ley 27314, introduciendo aspectos muy importantes como la responsabilidad compartida y de manejo integral de residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, con las empresas que producen, importan y comercializan bienes de consumo masivo y que consecuentemente contribuyen a la generación de residuos en una cantidad importante y con características de peligrosidad; la responsabilidad de los Gobiernos Regionales en la temática, entre otros (Ministerio del Medio Ambiente, 2008).

En el Perú la generación per-cápita (GPC) de residuos domiciliarios creció 5,9% el 2011 versus el 2010, pasando la generación de residuos municipales de 6,0 a 7,2 millones de toneladas/año. En la región Amazonas la generación per-cápita promedio fue de 0,523 kg/hab/día en el 2011, estimándose una cantidad total de residuos sólidos domiciliarios de 35 141 toneladas por año (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

Tabla 1. Generación de residuos sólidos domiciliarios según Región en el 2011

REGIÓN	Generación de Residuos (kg/día)	Población (hab)	GPC prom. (kg/hab/día)	Población Urbana Proyectada [hab]	Generación de Residuos (t/año)
AMAZONAS	27 758	53 035	0,523	183 947	35 141
ANCASH	176 823	239 151	0,739	742 355	200 342
APURIMAC	31 131	55 991	0,556	205 251	41 654
AREQUIPA	387 582	682 204	0,568	1 142 117	236 839
AYACUCHO	50 416	90 638	0,556	406 489	82 528
CAJAMARCA	14 743	39 846	0,370	531 582	71 790
CALLAO	357 102	538 045	0,664	974 868	236 163
CUSCO	36 970	63 742	0,580	708 706	150 033
HUANCAVELICA	8 380	11 026	0,760	160 047	44397,03
HUANUCO	127 690	247 911	0,515	361 029	67 873
ICA	102 691	227 313	0,452	699 797	115 392
JUNIN	52 177	112 869	0,462	898 469	151 601
LA LIBERTAD	412 370	611 259	0,675	1 348 689	332 098
LAMBAYEQUE	259 533	483 987	0,536	961 128	188 119
LIMA	3 327 064	5 191 411	0,641	9 075 793	2 123 016
LORETO	147 001	235 524	0,624	693 329	157 949
MADRE DE DIOS	27 339	69 565	0,393	122 635	17 591
MOQUEGUA	67 946	117 586	0,578	148 905	31 406
PASCO	34 484	76 413	0,451	185 693	30 587
PIURA	397 263	692 788	0,573	1 359 702	284 587
PUNO	73 404	135 933	0,540	712 314	140 397
SAN MARTIN	125 751	206 650	0,609	564 479	125 376
TACNA	56 988	113 594	0,502	296 753	54 339
TUMBES	32 697	104 798	0,312	203 848	23 214
UCAYALI	131 582	201 663	0,652	419 037	99 797
Total/Promedio	6 466 885	10 602 942	0,610	23 106 963	5 042 228

hab: habitantes, t : toneladas

Elaboración propia

Fuente: MINAM, 2012

Para la estimación de la Generación Nacional de Residuos Sólidos Municipales, se ha considerado los resultados estimados de generación de residuos domiciliarios como el 70% de los residuos municipales y un 30% adicional correspondiente a la generación de residuos comerciales, residuos de barrido y otros similares del ámbito municipal, lo cual permite estimar una generación total de residuos municipales de 6 millones de toneladas en el año 2010 y 7,2 millones en el año 2011, considerando únicamente la población urbana del Perú.

Tabla 2. Total de Residuos Sólidos generados en el Perú (2010-2011)

Año	Residuos Domiciliarios	Residuos Comerciales y Otros Municipales	Total de Residuos Municipales
	(t/año)		
2010	4 217 274	1 807 403	6 024 677
2011	5 042 228	2 160 955	7 203 183

Fuente: MINAM, 2012

En el año 2010 en el Perú, los residuos sólidos estuvieron compuestos por restos orgánicos de cocina y alimentos en un 50,19%, mientras que el año 2011 bajo al 48,9%, éstos constituyen los principales residuos generados por los domicilios, seguido por los plásticos con un 8,07% en el 2010 y con el 9,85% el año 2011. En general se puede observar que entre los dos años no hay una gran variación con respecto a la composición de los residuos sólidos a nivel del país (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

En la siguiente tabla se muestra los residuos sólidos a nivel del país por año:

Tabla 3. Composición de residuos sólidos en el Perú

TIPOS DE RESIDUOS	AÑO 2010 (%)	AÑO 2011 (%)
Restos orgánicos, de cocina y de alimentos	50,19	47,02
Huesos	1,78	1,68
Papel	3,95	4,96
Cartón	3,77	3,65
Plástico	8,07	9,48
Vidrio	3,10	3,76
Jebe – Caucho	0,19	0,43
Chatarra ferrosa y no ferrosa	2,59	3,07
Chatarra Electrónica	1,64	2,26
Madera, fibra dura vegetal y restos de jardín	2,08	2,78
Cuero	0,93	0,58
Textiles	1,32	1,45
Tetrapack	0,73	0,47
Otros No Especificados	3,30	0,97
Escombros e Inertes	5,74	4,51
Pluma, plástico, ceniza, textil, loza y otros NR	4,79	0,98
Peligrosos	7,88	6,37

Fuente: MINAM, 2012

En la región Amazonas, las provincias que cuentan con un Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) y que reportaron datos de las municipalidades provinciales y distritales al Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SIGERSOL) son: Bagua, Chachapoyas y Utcubamba (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

Según estos reportes se pudo obtener los tipos de residuos que se generaron en la región en el año 2011, y clasificarlos según su composición como se muestran en la siguiente figura:

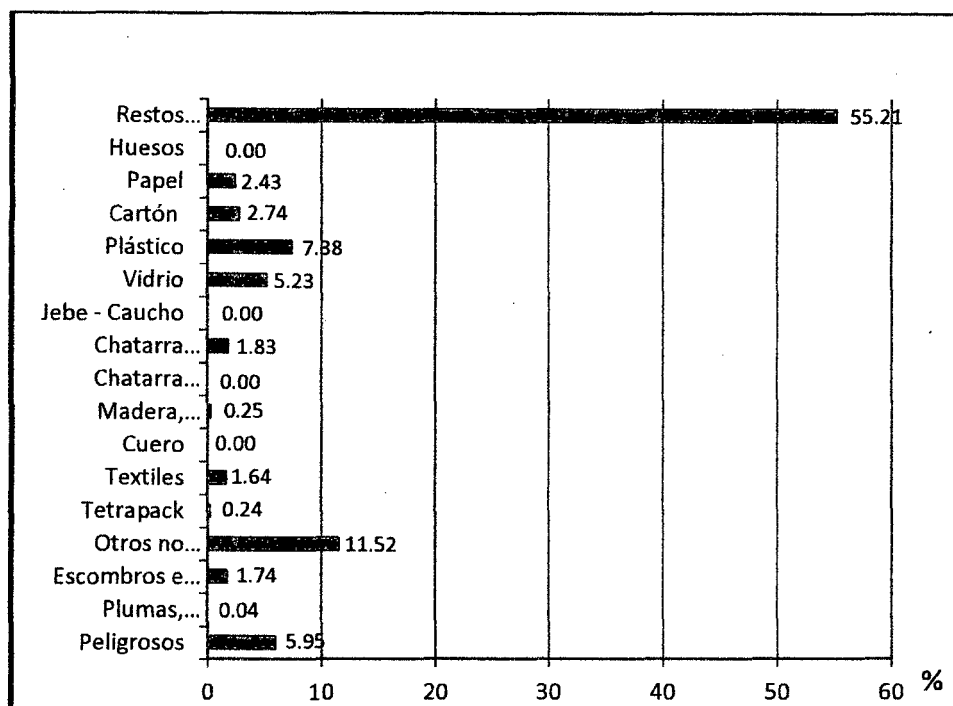


Figura 1. Composición de residuos sólidos de la región Amazonas en el año 2011

1.3. Manejo de residuos sólidos en Chachapoyas

En el año 2012, en el distrito de Chachapoyas, se realizó con el apoyo de la Municipalidad Provincial - Gerencia del Medio Ambiente y Servicios Públicos - y el Ministerio del Medio Ambiente, un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos (ECSR), con la finalidad de ubicar los focos de contaminación de dicho distrito y promover el manejo responsable de residuos sólidos generados. Este estudio de caracterización forma parte del Programa de Segregación en la Fuente y Recojo Selectivo de Residuos Sólidos “Chachapoyas, te quiero limpia y hermosa”; iniciando con un estudio de caracterización con el 7% de las viviendas urbanas del distrito de Chachapoyas, número que asciende a 512 viviendas que forman parte de los Barrios Alonso de Alvarado, Luya Urco y Santo Domingo, contando también como zonas de

estudio la recolección de residuos del mercado minorista Yance (5 puestos), 11 restaurantes, 11 centros comerciales minoristas y una 1 tienda comercial mayorista.

Según este estudio de caracterización, se obtuvieron resultados de la generación per-cápita de los residuos sólidos generados por habitante, obteniéndose una generación anual de 4 758, 282 toneladas/año.

Tabla 4. Generación per-cápita (GPC) de residuos sólidos en Chachapoyas

Año	Población (habitantes)	GPC – Diaria kg/hab/día	GPC - Generación Diaria tonelada/día	Generación Anual tonelada/año
2012	27 737	0.470	13 036	4 758.282

Fuente: ECRS-CHACHAPOYAS, 2012

1.3.1. Residuos sólidos domiciliarios

Según su clasificación, la composición de residuos sólidos domiciliarios produce un 68.60% materia orgánica sumado a ello 2.45% de follajes de podas en huertas, y otros arbustos pequeños haciendo un total de 71% de materia orgánica, como lo demuestra en la Figura 2:

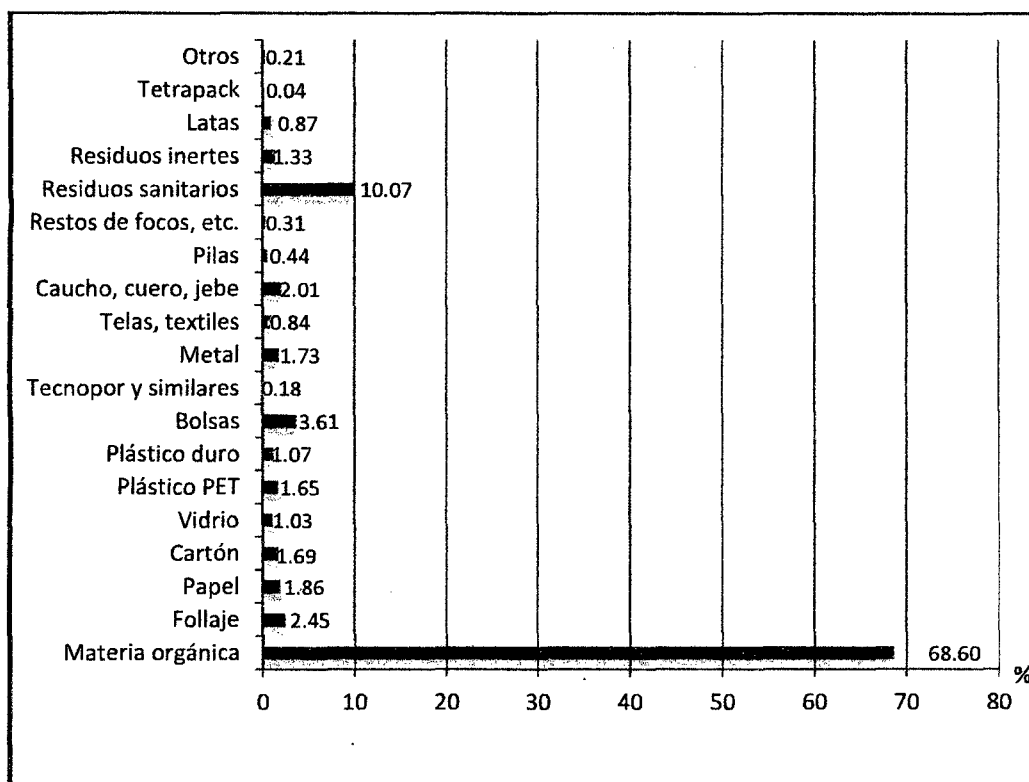


Figura 2. Composición de residuos sólidos domiciliarios en Chachapoyas

Fuente: ECRS-CHACHAPOYAS, 2012

1.3.2. Residuos sólidos no domiciliarios

A fin de conocer el comportamiento en la generación de residuos no domiciliarios se procedió a analizar los residuos generados en centros comerciales, restaurantes y de puestos del mercado de Yance.

En el estudio de caracterización del mercado minorista Yance, se realizó como muestras experimentales a 5 puestos de dicho local, en las cuales se evaluó los tipos de residuos que en éste se produjeron, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura:

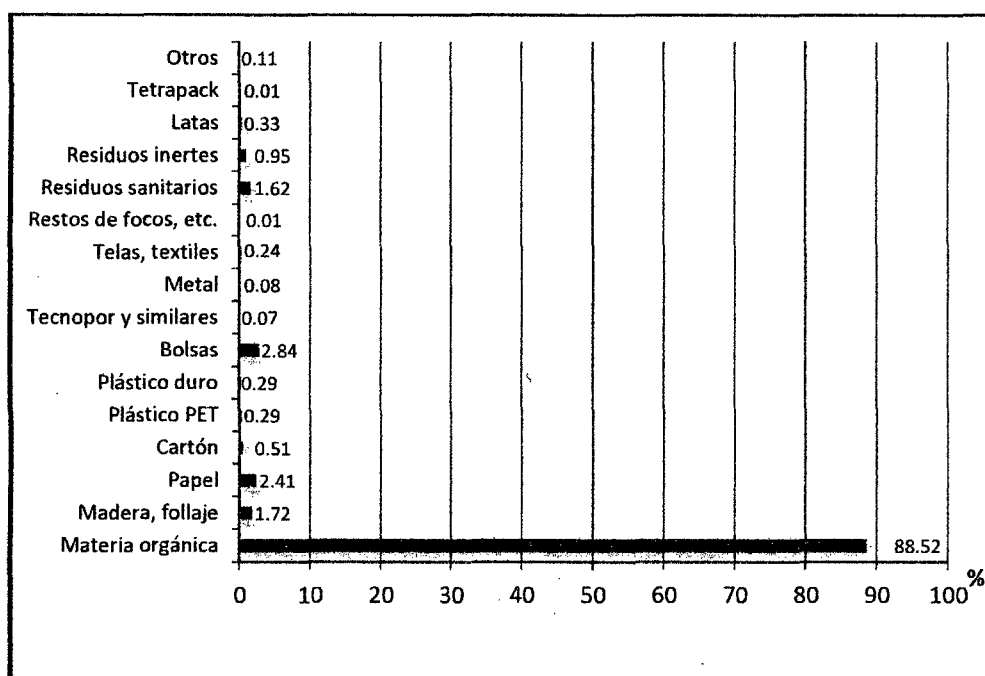


Figura 3. Composición de los residuos sólidos en el mercado de Yance

Fuente: ECRS-CHACHAPOYAS, 2012

a) Residuos del camal municipal

El camal municipal es uno de los focos de contaminación más grandes que hay en el distrito de Chachapoyas; ya que en el momento del beneficio del ganado se eliminan residuos como vísceras y estiércol que no son tratados correctamente. El estiércol, como residuo líquido, juntamente con la sangre va directamente al desagüe de la ciudad, mientras que las vísceras son llevadas a los camiones recolectores y enviadas al botadero municipal, generando malos olores y atracción de animales carroñeros.

El estiércol es uno de los residuos que más se generan a la hora del beneficio, formando parte importante de las aguas residuales que más

contaminan en el distrito. Las cantidades de estiércol generados por día se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Cantidad de residuos de estiércol generados en el camal municipal

Número de ganado beneficiado	Cantidad de estiércol generado por ganado (m ³)	Densidad del estiércol de ganado (kg/m ³)	Generación de residuo de estiércol promedio (kg/día)	Generación de residuo de estiércol promedio (T/año)
18	85	962	81 770	29 846

Elaboración propia

Fuente: Municipalidad Provincial de Chachapoyas, 2012

1.4. Residuos orgánicos

Están referidos a todos aquellos residuos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos (Sztern y Pravia, 1996).

Los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Constituyen entre el 30 y el 65 % de los residuos domiciliarios, según lugar y clima, más del 85% de los residuos considerados agrícolas y un porcentaje no despreciable de residuos industriales, fundamentalmente vinculados a las agroindustrias (Sztern y Pravia, 1996).

Existe una gran diversidad de residuos generados en la actividad agroindustrial. Las características cuantitativas y cualitativas de los mismos dependen de numerosos factores, entre otros:

- Características de las materias primas.
- Procesos de industrialización.
- Intensidad de la producción.
- Características de los productos obtenidos

Muchos residuos de las actividades agroindustriales son reutilizados a través de alternativas que se aplican desde hace ya algunos años, con menos o mayor grado de eficacia. Para otros residuos agroindustriales aún no existen alternativas de transformación en insumos útiles dentro de un marco económico viable (Sztern y Pravia, 1996).

La faena de bovinos, ovinos y aves de corral, generan importantes volúmenes de residuos. Entre estos se destacan excretas, cueros, pieles vísceras, contenidos digestivos, pelos, plumas, sangre y huesos. Parte de la sangre de la faena es derivada a la industria de alimentos para animales. Es utilizada también para la fabricación de productos químicos y harina de sangre; sin embargo, los cueros, plumas, recortes de pelos y pieles, así como contenido ruminal y excreta son residuos para los que no se han propuesto alternativas válidas de aprovechamiento. Su tratamiento representa una dificultad para los establecimientos en cuestión, pudiendo generar problemas de carácter sanitario y ambiental (Sztern y Pravia, 1996).

El componente orgánico de los residuos domiciliarios es la fracción predominante. Su porcentaje en peso puede variar entre un 55 a 70% del peso total, el resto corresponde a residuos abióticos. Si bien los Residuos Sólidos Domiciliarios representan cuantitativamente una fuente muy importante de materia orgánica, la

separación de esta fracción libre de restos inorgánicos ofrece dificultades lo que encarece los costos de recuperación (Sztern y Pravia, 1996)

1.5. Compostaje

El proceso de compostaje era conocido y utilizado por el hombre desde que cambió su vida de cazador a recolector. Cuando nuestros antepasados comenzaron a cultivar plantas observaron que obtenían mejores cosechas en las proximidades de montones de vegetación en putrefacción y de estiércol que en otros lugares. Este descubrimiento aislado, aunque una observación casual de naturaleza científica, no fue apreciado pero se transmitió de generación en generación. Con anterioridad a las últimas décadas, el compostaje se consideraba generalmente como un proceso fortuito; sin embargo, actualmente es un gran negocio y muchas actividades públicas y privadas de compostaje ahora son aceptadas como la vía más conveniente, desde el punto de vista medioambiental, para manipular alrededor de los 50% de los residuos destinados a los vertederos de basura (Stoffella y Kahn, 2001).

El compostaje es la descomposición o degradación de los materiales de desechos orgánicos por una población mixta de microorganismos (microbios) en un ambiente cálido, húmedo y aireado. Los desechos se amontonan juntos en una pila de manera que el calor en el proceso pueda ser conservado. Como resultado, sube la temperatura de la pila, acelerando por tanto el proceso básico de degradación natural, que normalmente ocurre en desechos orgánicos que caen sobre la superficie del suelo. El producto final del proceso es el compost o humus que sirve en agricultura para mejorar la estructura y las propiedades de retención de agua del suelo, y para suministrar

nutrientes a las plantas a medida que el compost se descompone finalmente en materia mineral (FAO, 1991).

Es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo (Saña y Soliva, 1987), que para llevar a cabo necesita: materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que ésta se desarrolle con multiplicidad de funciones y sinérgicas (figura 4); para ello y para que la población microbiana sea lo más variada posible debe mantener una serie de equilibrios: aire/agua, biopolímeros y nutrientes y, en el caso de aplicarse a elevadas cantidades de residuos orgánicos, un control muy estricto para conseguir:

- Eficiencia en el proceso.
- Reducción al mínimo de las emisiones y de las pérdidas de nutrientes.
- Un producto final de características conocidas y adecuadas para su destino.

Las condiciones ambientales (físicas y químicas) en las que se desarrolla la actividad microbiana (afectando a su supervivencia, metabolismo y crecimiento) están constantemente cambiando, como resultado de la acumulación de los subproductos de su misma actividad, incluida la energía calorífica (Moreno y Moral, 2008).

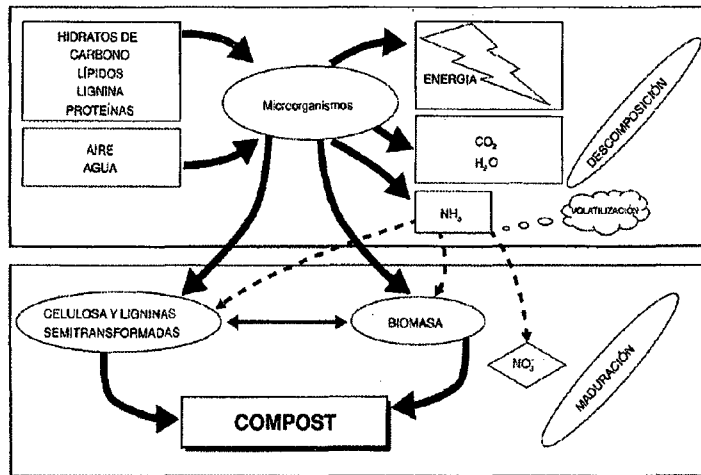
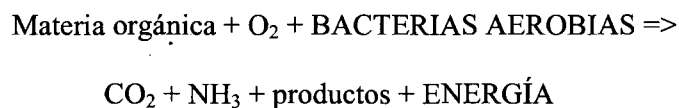


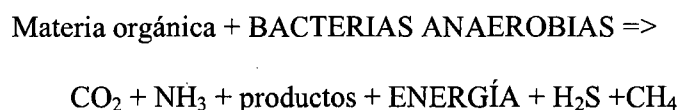
Figura 4. Esquema del proceso de compostaje
Fuente: Saña y Soliva, 1987

El compostaje, por lo tanto, es un conjunto de procesos biológicos interdependientes realizados por miríadas de microorganismos fundamentales para la descomposición de la materia orgánica. La mayor parte de los sistemas son aerobios, por medio de microorganismos que necesitan oxígeno (Sttofella y Kahn, 2001).

La ecuación bioquímica total es la siguiente:



En los sistemas anaerobios el oxígeno está ausente y la ecuación bioquímica total tiene una expresión diferente:



La energía producida por un sistema aerobio alcanza principalmente un grado calórico bajo. La autocombustión, producida por la oxidación microbiana de carbono C, se

produce espontáneamente cuando el conjunto de residuos orgánicos es suficiente para lograr un aislamiento completo (Stofella y Kahn, 2001).

Proceso de compostaje

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios (Haug, 1993), que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica originaria, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento (Nakasaki y otros, 2005).

Durante este proceso se controlan los distintos factores que aseguren una segura proliferación microbiana y, por consiguiente, una adecuada mineralización de la materia orgánica (Cronje y otros, 2003).

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje pueden ser clasificados en dos tipos: parámetros de seguimiento, que son aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso (Jeris y otros, 1973); y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato, que son aquellos que han de ser medidos y adecuados a sus valores correctos fundamentalmente al inicio del proceso (Madejón y otros, 2001).

Entre los parámetros de seguimiento se encuentran: temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre. Entre los relativos a la naturaleza del sustrato: tamaño de la partícula, relación C/N, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica.

Los valores e intervalos óptimos están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido (Moreno y Moral, 2008).

a) Parámetros de seguimiento

- **Temperatura**

Esta tiene efecto en el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos. Es un parámetro útil para medir el proceso de descomposición ya que en la medida que se desarrolla el metabolismo de las bacterias se genera calor por lo tanto el incremento de temperatura es un buen indicador de cómo está funcionando el proceso (INTEC, 1999).

El síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de temperatura de la masa que está compostando, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje. La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N (Moreno y Moral, 2008).

Los microorganismos que polulan en un sistema de compostaje dependen de las temperaturas y pueden ser de tres clases (Stoffella y Kahn, 2001):

Criófilos y psicrófilos..... 0 - 25°C

Mesófilos.....25 – 45°C

Termófilos..... > 45°C

Los Criófilos se encuentran raramente en el compostaje, pero el compostaje de invierno alcanza importancia en Canadá y el norte de Estados Unidos, en donde las temperaturas ambientales se escalonan entre -27 y 15°C (Stoffella y Kahn, 2001).

En la etapa inicial o etapa de latencia (considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial), en donde el material a ingresado recientemente al proceso de compostaje, está definida por dos factores: la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12°C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas (Sztern y Pravia, 1996).

En la etapa mesotérmica (10–40°C) se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan *Euactinomicetos* (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los camellones de compostaje (Sztern y Pravia, 1996). En esta etapa también hay una descomposición de los compuestos solubles que ocurre durante los 2 ó 3 primeros días (Peña y otros, 2002).

En la fase termogénica o termófila (40–75°C), la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de *Bacilos* y *Actinomicetos* termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo simbióticas. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes (Sztern y Pravia, 1996). El manejo de la temperatura requiere cuidado y control ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar de patógenos también puede terminar con la flora benéfica antes que el proceso lo haga naturalmente en el momento justo (INTEC, 1999).

Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las parvas. Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores (Sztern y Pravia, 1996), luego se produce la recolonización del compost por los organismos que no soportan el calor como hormigas, lombrices, insectos, etc. (Peña y otros, 2002). La temperatura

descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso (Sztern y Pravia, 1996).

En la figura 5 (Diaz y otros, 2002) se muestra la evolución de la temperatura en pilas estáticas con aireación forzada (a) y pilas volteadas (b):

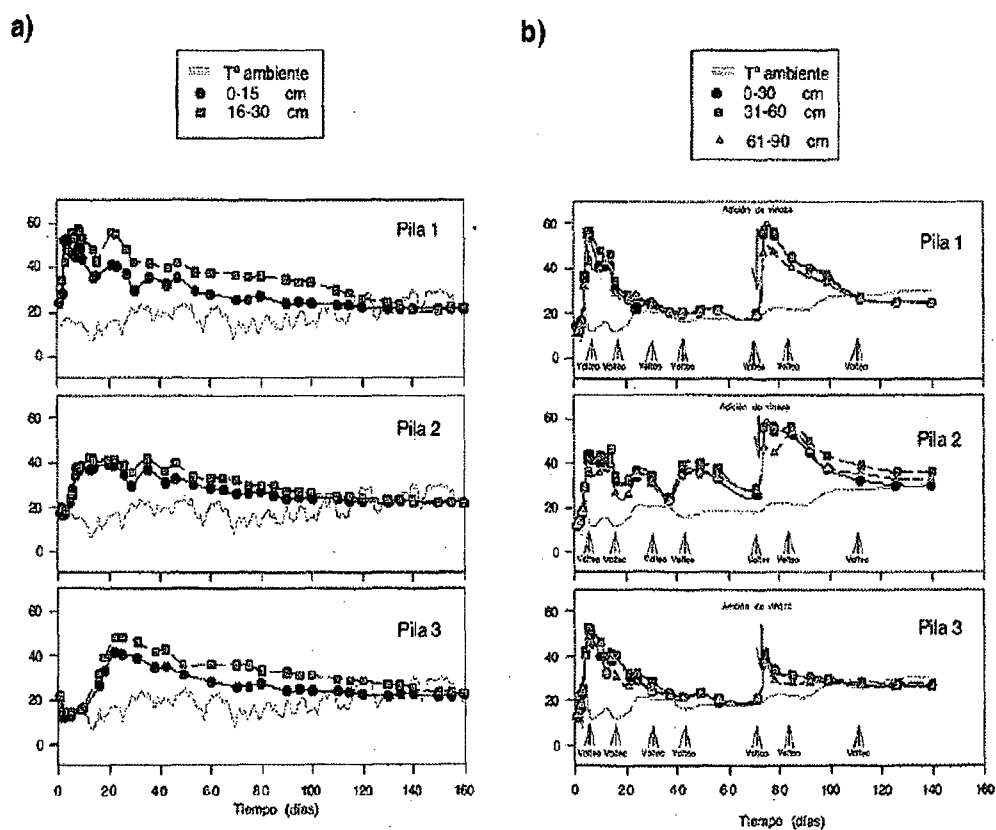
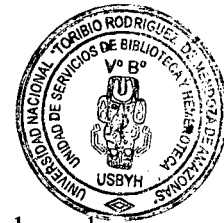


Figura 5. Evolución de la temperatura del compostaje en pilas estáticas (a) y pilas volteadas (b)



18 JUN 2014

Si se voltea una pila de compost antes de la madurez hay una subida de temperatura, lo que es una consecuencia del aumento del ataque por los organismos (FAO, 1991).

El tiempo total que pasa desde la construcción de la pila hasta la madurez dependerá de la naturaleza de los materiales orgánicos, de las condiciones de aireación y humedad en la pila y de las condiciones ambientales. El proceso de compostaje es más rápido en los trópicos y en lugares cálidos (FAO, 1991).

- **Humedad**

Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso (Moreno y Moral, 2008).

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa (Miyatake e Iwabuchi, 2006), para que permita la circulación tanto del oxígeno (ya que el proceso debe desarrollarse en condiciones aerobias), como la de otros gases producidos en la reacción.

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%, la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres

existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso (Moreno y Moral, 2008).

La humedad de un compost procede de dos orígenes: la humedad inicial de la materia prima y el agua del metabolismo microbiano, así también los cambios en el contenido de humedad dependen mucho del tipo de envasado de la materia prima y del método de compostaje. Se deben tener en cuenta, en el caso del compostaje en montones al aire libre, los factores ambientales tales como la precipitación, así como su carencia. Sin embargo, cuando las condiciones climáticas exteriores no influyen, el contenido de humedad disminuye a causa de la evaporación (Stoffella y Kahn, 2001).

El exceso de humedad puede ser reducido aumentando la aireación (Haug, 1993). A su vez con un buen control de la humedad y de la aireación, puede llevarse a cabo el control de la temperatura (Moreno y Moral, 2008).

- **Aireación**

Por el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18 a 20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto que a una

profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci y otros, 2004).

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la aparición de malos olores (Bidleingmayer, 1996). La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Así, por ejemplo, un exceso de ventilación podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje. Esto podría dar la impresión de que el proceso ha concluido. Por otra parte, el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción (Peña y otros, 2002).

- **pH**

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Moreno y Moral, 2008).

Según algunos autores la evolución del pH en el compostaje presenta tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Eventualmente ésta

bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formará aún más cantidad de ácidos orgánicos (Moreno y Moral, 2008). En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez – Monedero y otros, 2001). Las condiciones fuertemente alcalinas originarán una pérdida excesiva de nitrógeno; en consecuencia, no es conveniente añadir cal a la pila (FAO, 1991). En la tercera fase, el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón.

En la figura 6, se puede observar las fases o periodos del pH en el proceso de compostaje:

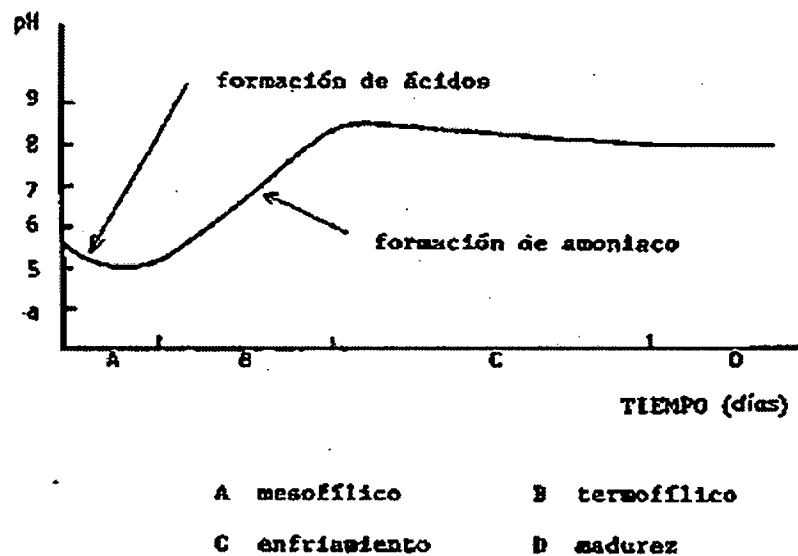


Figura 6. Variación del pH en el proceso de compostaje
Fuente: FAO, 1991

Suler y otros (1977) establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores mas bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron la relación pH-aireación-microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición.

- **Espacio de aire libre**

Shulze (1962) utiliza por primera vez el concepto de espacio de aire libre (Free Air Space, FAS) adoptado de la ciencia del suelo, que relaciona los contenidos de humedad, la densidad aparente, la densidad real y la porosidad; es decir, que tiene en cuenta la estructura física de los residuos . Aunque se dispone de métodos para medir el volumen del aire (Toffey y Hentz, 1995), la mayor parte de los trabajos utilizan solamente la densidad aparente como medio más fácil de medición y, desde el punto de vista de los productores, la más significativa (Van der Werf y Ormseth, 1997). Utilizando los datos de muestras tomadas a diferentes profundidades de un montón de compost (Brouillette y otros, 1996), es posible conseguir al mismo tiempo la determinación de la porosidad y el espacio del aire libre en función de la densidad aparente. Con estos datos es posible establecer las siguientes

relaciones entre la densidad aparente (BD), la porosidad (P) y el espacio del aire libre (FAS):

$$P = 100,3 - 0,0263 \text{ BD}$$

$$\text{FAS} = 99,5 - 0,0788 \text{ BD}$$

Los valores de la densidad aparente de un compost (inicial y final) proporcionados por la literatura demuestran una amplia variación desde un mínimo de 178 kg/m^3 a un máximo de 740 kg/m^3 . Durante el compostaje, la densidad aparente del compost podría incrementarse debido a la diversificación del tamaño de las partículas del material; esto se traduce en un compost más compacto. Sin embargo, en algunos sistemas de compostaje, en los que la evaporación de sustancias y pérdidas de agua son posibles, los valores de la densidad aparente pueden descender cuando el material se seca durante el periodo de fabricación (Stoffella y Kahn, 2001).

b) Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

- **Tamaño de partícula**

Otra de las propiedades físicas importantes en el compostaje es el tamaño de las partículas, que no afecta solamente a la retención de la humedad (Jeris y Regan, 1973) sino también el espacio para el aire libre (Schulze, 1961) y a la porosidad del compost (Naylor, 1996). Los materiales con partículas grandes tienen un espacio mayor para el aire libre y más alta porosidad, teniendo propiedades inversas los que contienen partículas más pequeñas. Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y

aumenta la velocidad del proceso. Se ha descrito en una experiencia con residuos agroindustriales que la velocidad del proceso se duplica al moler el material. Pero aunque un pequeño tamaño de partícula provoca una gran superficie de contacto para el ataque microbiano, también se reduce el espacio entre partículas y aumenta las fuerzas de fricción (Haug, 1993); esto limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, lo cual restringe la proliferación microbiana y puede dar lugar a un colapso microbiano al ser imposible la aireación por convección natural. Por otra parte, un producto fino no es aconsejable por riesgos de compactación (Moreno y Moral, 2008).

- **Relación C/N**

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25 – 35 (Jhorar y otros, 1991).

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido

carbónico) es necesaria la aparición sucesiva de diversas especies microbianas. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. Si el residuo tiene una alta relación C/N disponible realmente. Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará solo a una proporción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso (Moreno y Moral, 2008).

La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando la relación C/N < 20, aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente. Si los productos que se compostan poseen una relación C/N baja (inferior a 18-19), el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez (Zhu, 2006), pero se desprende como amoníaco el exceso de N, produciéndose una autorregulación de la relación C/N (Jhorar y otros, 1991). Estas pérdidas, si bien no afectan negativamente al compostaje, suponen un derroche, porque el N es el nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental (Hedegaard y Krüger, 1996) ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero. Al tener la relación C/N una gran dependencia de la riqueza inicial de N, un valor concreto de C/N no refleja el estado de madurez de un compost, por lo que es

más indicado seguir la evolución de C/N del proceso o calcular la diferencia entre los valores iniciales y finales (Moreno y Moral, 2008).

La relación C/N decrece durante el compostaje, en la figura 7 se muestra la evolución característica de la relación C/N durante y después del compostaje (Sánchez - Monedero, 2001):

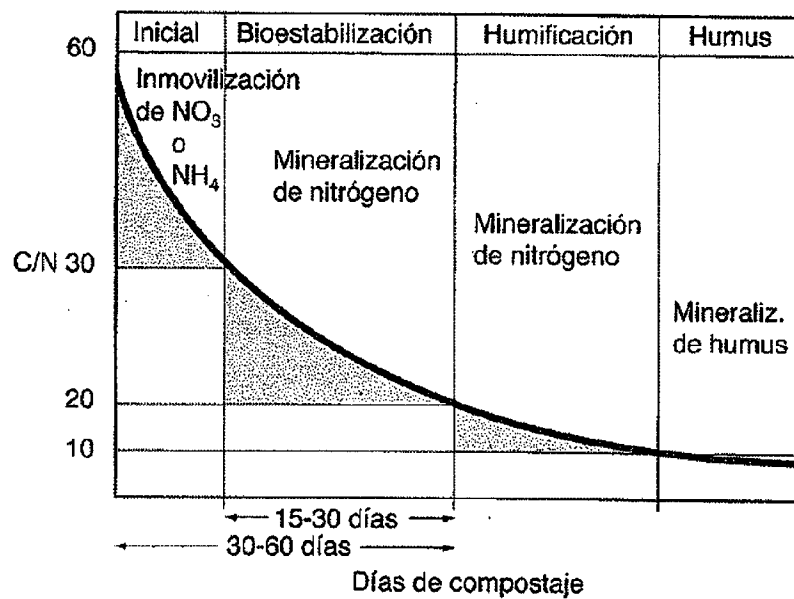


Figura 7. Evolución característica de la relación C/N durante el proceso de compostaje

- **Nutrientes**

Es la característica química más importante de los sustratos en su composición elemental. La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (Kiehl, 1985). Los microorganismos solo pueden aprovechar

compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas (por ejemplo, las proteínas en aminoácidos y estos en amoniacos) para poder ser asimiladas (Castaldi y otros, 2005).

Entre los elementos que componen los sustratos destacan el C, N y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación de protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N. el fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Moreno y Moral, 2008).

Por otra parte, el fósforo es el nutriente más importante, tras el C y el N, por lo que también debe estar presente en unas cantidades mínimas para que el proceso se lleve a cabo correctamente. Una buena relación entre los principales nutrientes provoca una adecuada capacidad para la proliferación microbiana, al tener todos los nutrientes principales en unas cantidades óptimas y en la forma más disponible para la síntesis microbiana. Singh y Amberger (1990) encontraron que cuando compostaban paja de trigo en

presencia de roca fosfática, la descomposición de la paja aumentaba al hacerlo la cantidad de fósforo añadido.

Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Miyatake e Iwabuchi, 2006).

- **Materia orgánica**

El conocimiento del contenido de los compost es materia orgánica es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada (Zucconi y De Bertoldi, 1987). Este descenso de materia orgánica transcurre en dos etapas fundamentalmente. En la primera se produce un rápido decrecimiento de los carbohidratos, transformándose las cadenas carbonadas largas en otras más cortas con la producción de compuestos simples; algunos de los cuales se reagrupan para formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos. En la segunda etapa, una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Castaldi y otros, 2005); generalmente este último cambio no finaliza durante el tiempo que

dura el compostaje. Algunos compuestos procedentes de la materia orgánica son utilizados por los microorganismos para formar sus tejidos y otros son transformados en anhídrido carbónico y agua. Los nuevos materiales formados poseen unas propiedades distintas a la de los materiales originales, confiriéndole a las masas unas características físicas y químicas distintas (Haug, 1993). La velocidad de transformación de materia orgánica depende de la naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones fisico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Michel y otros, 2004).

- **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez-Monedero, 2001).

La CE tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma.

La dosis de compost que puede añadirse a un suelo debe ser proporcional a la CE del compost. Un exceso de salinidad en la solución del suelo dificulta la

absorción de agua por las raíces de las plantas, de modo que en algunos casos, en esas condiciones, solo prosperan las especies resistentes.

1.6. Evaluación de la calidad de compost

La evaluación de la madurez del compost ha sido reconocida como el más importante problema concerniente a su utilización agronómica, ya que la aplicación a los suelos de cultivo de un compost inmaduro es una de las causas más frecuentes de los fracasos observados en ocasiones en el rendimiento de los cultivos. Pues bien, la determinación correcta del grado de madurez de la materia orgánica (definidos en términos de estabilidad biológica y “humificación” siguiendo un criterio estrictamente operacional como se ha indicado anteriormente), constituye en la actualidad un problema pendiente en relación al control del proceso de compostaje, para la obtención de compost de alta calidad (Moreno y Moral, 2008).

La rápida descomposición en el suelo de un compost inmaduro, con un alto contenido de C lábil, induce un rápido y espectacular incremento de la actividad microbiana, lo cual provoca un aumento de la tasa de mineralización de la materia orgánica nativa del suelo, fenómeno conocido como “priming effect”. Hay que decir, no obstante, que actualmente se asume en general que este fenómeno causado por la materia orgánica fresca no tiene demasiada trascendencia (en relación al carbono), al menos a medio plazo, ya que se tiende a restablecer las condiciones iniciales rápidamente. No se conoce bien las causas de esta reversión pero se adscribe a lo que se ha denominado como “soil resilience” (capacidad de recuperación del suelo) (Moreno y Moral, 2008).

Sin embargo, la aplicación de un compost con un grado de madurez insuficiente provoca como efecto más sobresaliente un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo cual puede dar lugar a graves deficiencias de N en la planta y por tanto a un efecto depresivo en el rendimiento de los cultivos. Por el contrario en compost altamente maduros como demuestra Iglesias Jiménez y Álvarez (1993) e Iglesias Jiménez (2001) con compost de residuos sólidos urbanos (RSU), se produce una inmovilización parcial del N asimilable incorporado con el compost pero el resultado global es una *mineralización neta positiva*, pudiendo aportar cantidades importantes de N disponible a los cultivos en un periodo corto de tiempo. La incorporación de materiales orgánicos insuficientemente estabilizados puede provocar no solo una inmovilización de N, sino también de otros nutrientes esenciales, como S, P, Ca o Mg. Este fenómeno que ha sido documentado en los suelos de regiones frías, en los que el suministro de nutrientes depende estrechamente de la mineralización de la materia orgánica (Schmidt y otros, 1999), puede también ocurrir como consecuencia del incremento de biomasa que produce al incorporar una fuente de C lábil al suelo, como puede ser un compost inmaduro. Los microorganismos pueden competir con las plantas por la absorción de nutrientes, pudiendo disminuir su concentración hasta el punto de afectar su desarrollo vegetal (Moreno y Moral, 2008).

Las propiedades de un compost están ligadas a diferentes reglamentos internacionales que adjudican los distintos parámetros que deben contener antes de su utilización o venta. En la tabla 6 muestra las diferentes características que debe tener un compost de calidad, garantizando así su buen funcionamiento y efectividad al momento de aplicación en los cultivos, sin afectar el normal desarrollo de las plantas:

Tabla 6. Parámetros de calidad del compost

Propiedades	Parámetros		Reglamento
Propiedades físicas	Humedad	35 – 45%	UNE-EN 13040:2001
	Densidad aparente	400 a 700 kg/m ³	UNE-EN 12580:2000
	Porosidad y granulometría	> 80%	–
	Olor	A tierra mojada	EN 13725:1999
	Color	Marrón oscuro, casi negro	–
	Contenido de inertes	< a 3%	RD 824/2005
Propiedades químicas	pH	6,5 a 8,5	UNE-EN 13037:2000
	Conductividad eléctrica	≤ 5 dS/m (Compost Clase A) 5-12 dS/m (Compost Clase B)	NORMA DE CALIDAD DE COMPOST. CHILE 2000
	Relación C/N	Entre 10 y 15	UNE-EN 13039:2001
Propiedades biológicas	Actividad microbiológica	Mínima	ISO 7251
	Evaluación de madurez	Sin eliminación de CO ₂ y O ₂ , sin elevación de la temperatura.	ASTM D 5975-96

Elaboración propia

Fuente: Moreno y Moral, 2008

** Compost Clase A es denominado por este reglamento como producto de alta calidad, mientras que el compost Clase B es denominado como producto de calidad pero que cuenta con algunas restricciones.*

En la tabla 7 se establecen los parámetros que deben ser considerados para evaluar la calidad de un compost según su uso. Esta tabla es utilizada por los laboratorios Woods End Research (EE.UU) para conceder el certificado de calidad a un compost:

Tabla 7. Parámetros claves para la certificación de calidad de un compost

	Sustrato semillero	Sustrato contenedor	Enmienda jardines	Mezcla con suelo	Mulch	Fertilizante natural
pH, humedad	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Índice maduración	✓	✓	✓	✓		
Materia orgánica	✓	✓	✓	✓	✓	
Sales solubles	✓	✓	✓	✓	✓	
Minerales	✓	✓	✓			✓
Densidad	✓	✓			✓	✓
Crecimiento cultivo	✓	✓	✓	✓		✓

Fuente: Woods End Research Lab, 2001

1.7. Métodos de compostaje eficaces

a) Método Takakura

Este método fue desarrollado por el japonés Mr. Takakura, coordinador del Instituto del Medio Ambiente Wakamatsu, con ayuda de la Asociación Techno-Cooperativa Internacional (KITA) en el 2004, quien contribuyó en desarrollar el método para reducir y reciclar los residuos en la localidad de Surubaya, ciudad de Kitakyushu, Japón (JPEC, 2005).

Después de la acogida de este proyecto, y la ampliación del mismo desde Surabaya a otras ciudades en el sudeste asiático, gracias al apoyo de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) y el Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES); este método se ha ampliado a diferentes países en Europa, África, Asia y recientemente América latina (JPEC, 2005).

Este método se caracteriza por su rapidez y por su sencillez para realizarla, ya que se trabaja con materiales propios de la zona, generando menores costos de producción.

En el método de Compostaje Takakura, las sustancias orgánicas son sometidas al compostaje con los medios de cultivo de microorganismos que se adaptan al suelo y están comúnmente disponibles en el ambiente natural y sirven para eliminar los microorganismos indeseables. Sobre todo, los microorganismos fermentativos juegan un papel central en el compostaje. Debido a que los microorganismos fermentativos que se adaptan perfectamente al compostaje existen cerca de nuestros alrededores, cualquiera puede realizar fácilmente el compostaje descubriéndolos y cultivándolos (IGES, 2009).

El uso efectivo de los microorganismos fermentativos posibilita la producción de gran cantidad de compostaje en un espacio pequeño y en un período corto de tiempo. Además, el método es seguro y económico debido a que sólo se requieren materiales disponibles inmediatamente. Salvo que sea tratado apropiadamente, los residuos orgánicos sufren fácilmente la putrefacción. Una forma de prevenir la putrefacción es mediante la aplicación de gran cantidad de microorganismos fermentativos e inducir el proceso de fermentación deseado. Cuando la cantidad de microorganismos fermentativos es mayor que la de la putrefacción, se produce la transición hacia la etapa de una buena fermentación. En cambio, las sustancias orgánicas se pudren y emiten un olor ofensivo cuando la cantidad de microorganismos fermentativos es menor que la de la putrefacción (IGES, 2009).

En otras palabras, ambos microorganismos luchan por su propia supervivencia compitiendo mutuamente. Para estimular la fermentación de ambos microorganismos en este forcejeo por la supervivencia, debe ser preparada plenamente y aplicada desde la etapa inicial del compostaje. Para el compostaje no se requieren microorganismos fermentativos especiales, salvo aquellos que existen en nuestra vida diaria, los cuales se denominan Microorganismos Nativos (IGES, 2009).

Entre las características del método Takakura tenemos:

Rápido

- Completa el compost en una o dos semanas.

Fácil

- Requisito es sólo la mezcla de los materiales.
- El compost para la casa con sólo una canasta.

Barato

- Material necesario para hacer el compost es sólo picar los residuos con tijera o cuchillo.
- Se requiere sólo materiales disponibles localmente.

Los microorganismos fermentativos de buena calidad existen en las siguientes sustancias (o lugares) y la recolección de los mismos desde varias fuentes intensifica la efectividad (IGES, 2009):

- **Alimentos fermentados:** Yogurt, soja fermentada, salsa de soja no refinada, vino local, hongos, células de levadura, etc.

- **Tierra vegetal:** La tierra vegetal recolectada en la naturaleza es más efectiva que los comercialmente disponibles. También la tierra vegetal que se disgrega en contacto con el suelo brinda mejores resultados.
- **Otros materiales naturales:** Afrecho de arroz, cascarilla de arroz, paja, pasto, árboles podridos, etc.

Según JPEC, 2005; nos dice que los microorganismos generados en el método Takakura son:

- **Actinomicetos:** Que son bacterias que se encuentran en la tierra y que sirven para la descomposición de la materia orgánica como la celulosa y hemicelulosa.
- **Basidiomicetos:** Son hongos que se originan del alimentos fermentados y en el suelo, sirven también para la descomposición de la materia orgánica en la etapa de degradación de la lignina.
- **Levaduras y bacterias ácido lácticas:** Se obtienen de alimentos fermentados como yogurt, vino, guarapo, etc.; y además de la superficie de frutas y verduras. En el caso de frutas y verduras es indicado agregar un poco de sal para reunir a estas bacterias, ya que la sal inhibe la proliferación de gérmenes que causan la caries. Estas bacterias sirven para la descomposición de materias orgánicas fácilmente descomponibles como azúcar, proteínas y aminoácidos.

En la siguiente figura se muestra la actividad de los microorganismos en cada etapa del compostaje:

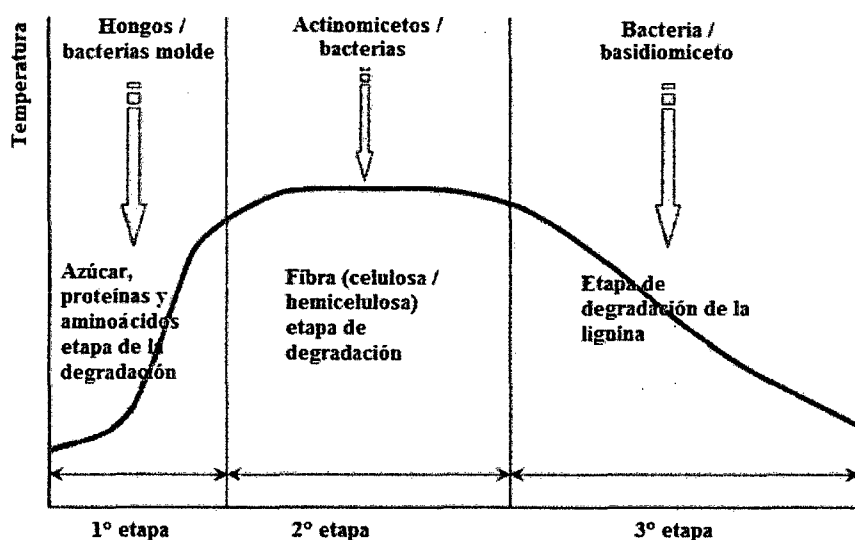


Figura 8. El compostaje y la transición de los microorganismos

Fuente: JPEC, 2005

b) Em-compost

EM, es una abreviación de Effective Microorganisms (Microorganismos Eficaces), EM es una combinación de varios microorganismos benéficos de origen natural de tres géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias de ácido láctico y levaduras. La tecnología EM, fue desarrollada por Teruo Higa, Ph. D., profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. A comienzos de los años sesenta, el profesor Higa comenzó la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y pesticidas sintéticos, popularizados después de la segunda guerra mundial para la producción de alimentos en el mundo entero. Inicialmente el EM fue utilizado como un acondicionador de suelos. Hoy en día

EM es usado no solo para producir alimentos de altísima calidad, libres de agroquímicos, sino también para el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de alimentos, fábricas de papel, mataderos y municipalidades entre otros. El EM es usado en los 5 continentes y cubre más de 120 países (APROLAB, 2007).

Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisico-químicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible (APROLAB, 2007). Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar:

En las plantas:

- Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.
- Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.
- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.
- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.

- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

En los suelos:

Los efectos de los microorganismos en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, biológicas y supresión de enfermedades.

Así pues entre sus efectos se pueden mencionar:

- Efectos en las condiciones físicas del suelo: mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua.
- Efectos en la microbiología del suelo: suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia.
- Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen.

El EM es un cóctel líquido que contiene más de 80 Microorganismos benéficos de origen natural. A continuación se describen algunos de los principales tipos de microorganismos presentes en el EM y su acción (APROLAB, 2007):

- **Bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp*)**

Las bacterias fotosintéticas o fototrópicas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía.

- **Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus sp*)**

Las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Desde tiempos antiguos, muchos alimentos y bebidas como el yogurt y los pepinillos son producidos usando bacterias ácido lácticas.

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades como *Fusarium*, los cuales aparecen en sistemas de producción continua. Bajo circunstancias normales, las especies como *Fusarium* debilitan las plantas cultivadas, exponiéndolas a enfermedades y a poblaciones crecientes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de *Fusarium*, mejorando así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos.

- **Levaduras (*Saccharomyces spp*)**

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas.

- **Actinomicetos**

La estructura de los Actinomicetos, intermedia entre la de las bacterias y hongos, producen sustancias antimicrobianas a partir de los aminoácidos y azúcares producidos por las bacterias fotosintéticas y por la materia orgánica. Esas sustancias antimicrobianas suprimen hongos dañinos y bacterias patógenas. Los Actinomicetos pueden coexistir con la bacteria fotosintética. Así, ambas especies mejoran la calidad de los suelos a través del incremento de la actividad microbiana.

- **Hongos de Fermentación**

Los hongos de fermentación como el *Aspergillus* y el *Penicilina* actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, esteres y sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales y gusanos.

En la tabla 8 se muestra las principales diferencias entre la producción de compost con EM y la producción de un compost tradicional (sin EM):

Tabla 8: Diferencias entre producción de compost con EM y un compost tradicional

Compost con EM	Compost tradicional
Menor tiempo de descomposición. Entre uno a dos meses.	Mayor tiempo de descomposición. Normalmente entre 3 a 6 meses.
No hay presencia de malos olores ni moscas.	Puede haber presencia de malos olores y moscas.
Producto final con más contenidos de nutrientes.	Menor contenido nutricional en comparación al Em-compost.
Mayor contenido de microorganismos benéficos.	Menor contenido de microorganismos benéficos.

Fuente: APROLAB, 2007

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de experimentación

El lugar donde se realizó la experimentación fue en el centro de compostaje de la municipalidad provincial de Chachapoyas, a 40 minutos del centro de la ciudad, en el camino que conlleva hacia el centro poblado de Taquia. El terreno donde se ubicaron las camas experimentales fue pedregoso, y se encuentra ubicado a una altitud de 2300 m.s.n.m.

2.2. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se recibieron de los hogares de la provincia de Chachapoyas, que forman parte del Plan de Segregación Municipal MPCH, y residuos provenientes del centro de beneficio municipal (camal municipal), en la región Amazonas, los tipos de residuos y su clasificación se describen en el Anexo 1.

2.3. Instalación de las camas composteras

Se elaboraron nueve camas composteras de madera, tres por cada método (método Takakura, método Em-compost y testigo), colocadas en filas y en bloques de 3, para cada uno de los métodos aplicados.

Cada cama tuvo una distribución de 1.3 x 0.8 m como se muestra en la figura 9:

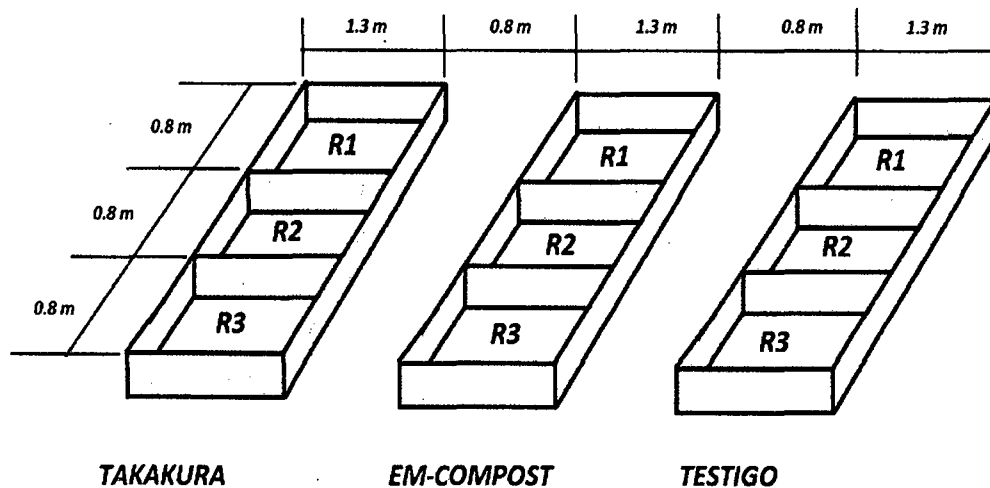


Figura 9. Diseño y distribución de las camas composteras

Fuente: Elaboración propia

El terreno donde se ubicaron estas camas poseía una pendiente de 1.5 a 5 %, facilitando así el drenaje pluvial y de los lixiviados producidos en el compostaje, y a la misma vez funcionando como regulador de la humedad del medio.

2.4. Llenado y acondicionamiento de las camas composteras

Los vehículos recolectores recibieron los residuos del camal municipal (estiércol) juntamente con residuos orgánicos provenientes de los hogares Chachapoyanos (plan de segregación MPCH). Ya elaboradas las camas de compostaje, el camión recolector se ubicó detrás de cada cama para depositar los desechos con la ayuda de dos operarios para su remoción y acondicionamiento.

El llenado de las camas se realizó en tres días (lunes, miércoles y viernes), en los cuales al final de cada llenado se realizaba un picado general de los residuos con las palanas. Pasado los tres días de llenado, se realizó una homogenización general de la

pila, mezclando todos los residuos con el apoyo de palanas y lampas, y luego se procedió a estandarizar las mismas cantidades de residuos a cada una de las camas experimentales. Ver anexo 2.

Para el método Em-compost y prueba Testigo se llenaron completamente las camas composteras con los residuos orgánicos, mientras que para el método Takakura solo se llenaron la mitad de cada cama, para que en el momento de la activación del método se pueda agregar la otra mitad con el composte semilla en una relación 1:1 (volumen:volumen).

Al finalizar el llenado de las camas, éstas fueron cubiertas con aserrín para evitar malos olores y pérdida de humedad hasta el momento de la aplicación de los métodos.

2.5. Proceso de activación del Em-compost

Este producto posee grupos microbianos concentrados en un medio de cultivo que necesitan ser activados para su uso, para lo cual se agregó cantidades de melaza (miel de caña) y agua.

Para ello las proporciones indican:

1 litro de Em-compost + 1 litro de melaza + 18 litros de agua

Esto es 20 litros de mezcla al que llamamos EMA = EM ACTIVADO.

Como para la aplicación general para todas las camas se aproxima una cantidad de 4000 m³, se requiere de 6 litros de EMA para las unidades experimentales en general.

$$6 * 0.05 = 0.3 \text{ litros de EM}$$

$$6 * 0.05 = 0.3 \text{ litros de MELAZA}$$

$$6 * 0.90 = 5.4 \text{ litros de AGUA SIN CLORO}$$

Se dejó reposar herméticamente por espacio de 7 días al término del cual el pH fue inferior a 4 y obtuvo una coloración café-naranja y un olor agri dulce.

2.6. Proceso de activación del método Takakura

Para el proceso de activación del método Takakura se siguió los pasos del manual elaborado por JPEC del programa de reducción de residuos mediante la promoción del compostaje de residuos orgánicos por el sistema KitaQ (IGES, 2009) que se describen en el Anexo 3.

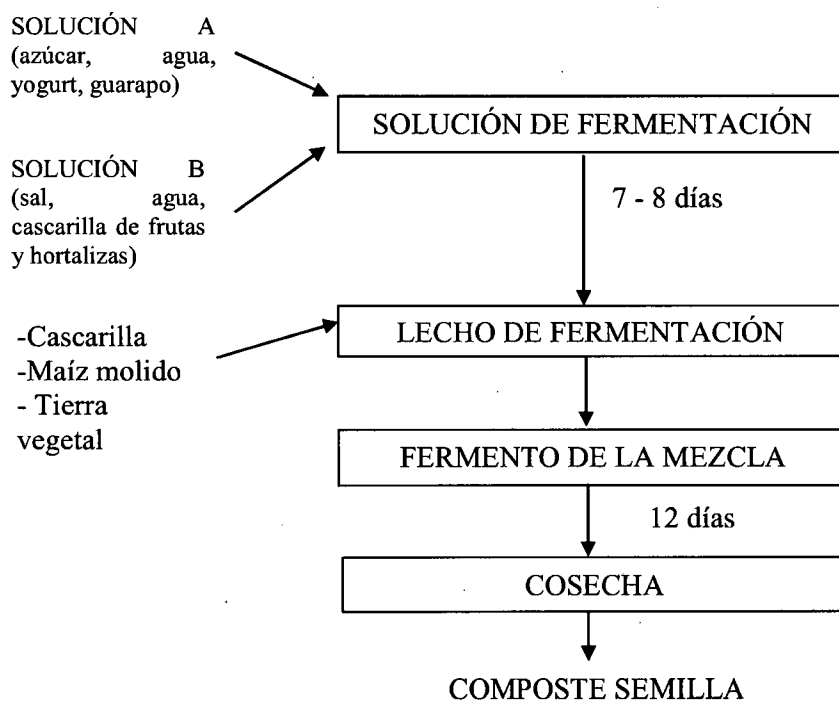


Figura 10. Flujograma para la obtención de composte semilla para del método Takakura

Fuente: Elaboración propia

2.7. Aplicación de los métodos activados a las camas composteras

2.7.1. Método Takakura

Se agregó el composte semilla a las camas con residuos en una relación de 1: 1, luego se procedió a mezclar con la ayuda de una palana y una lampa hasta dejar una pila más homogénea. También se agregó agua para controlar la humedad (aproximadamente al 60%).

2.7.2. Método Em-compost

Para las camas experimentales del método Em-compost, se agregó el EMA en una primera aplicación, es decir, solo se agregó la mitad del Em activado. Para esto se hizo una remoción de los residuos y se fue agregando el EMA con una mochila pulverizadora. La otra mitad del EMA se dejó para la segunda semana de aplicación, en la cual se procedió a seguir con los mismos pasos.

Para el testigo solo se hizo una remoción de los residuos y se agregó agua.

Todas las camas experimentales, tanto para el método Takakura, Em-compost como el testigo, fueron cubiertas con plástico de doble membrana, para mantener la temperatura y humedad de la pila (protección de lluvias).

2.8. Análisis fisicoquímico en el proceso de compostaje

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en campo (para controlar el proceso de compostaje) y en laboratorio.

Los análisis en laboratorio se realizaron de muestras extraídas de las camas experimentales (Em-compost, Takakura y testigo con cada una de sus repeticiones),

que fueron enviadas a los 21, 45, 70 y 223 días desde que se inició el proceso de compostaje, con un peso de muestra de 300 g.

2.8.1. Análisis en campo

a) Determinación de temperatura

Se realizó empleando un termómetro, con tal motivo se colocó en el centro de la pila para medir la temperatura.

b) Determinación de pH

Se realizó con cintas de pH. Se retiraba una muestra de la pila y se remojaba con agua, después de lo cual se colocaba la cinta de pH por un lapso de 10 segundos en dicha muestra, luego se comparaba el color obtenido en la cinta con el test que se encontraba en la caja del producto.

c) Determinación de humedad

Esta medición se hizo en forma subjetiva, en base al conocimiento del personal experimentado, solo al tacto. Se tomaba una muestra de la pila con la mano y se exprimía, si el contenido de humedad era correcto (40 al 60%), la mezcla se convertía en una masa sin fuga de agua y mantenía su forma.

2.8.2. Análisis en laboratorio

Éstos se realizaron en la Estación Experimental Baños del Inca, del Instituto Nacional de Innovación Agraria; laboratorio de servicio de suelos, aguas, abonos y pastos, Cajamarca. Se determinó con los métodos oficiales del AOAC:

pH, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, y humedad. Los procedimientos se describen en el Anexo 4.

a) Determinación de pH (Método AOAC, 1990)

Se realizó con el potenciómetro.

b) Determinación de conductividad eléctrica (AOAC, 1990)

Se realizó con el conductímetro.

c) Determinación de materia orgánica (AOAC, 1990)

Se utilizó el Walkley – Black modificado.

d) Determinación de nitrógeno (Método AOAC, 1990)

Se realizó mediante el método Kjeldhal.

e) Determinación de fósforo (AOAC, 1990)

Se realizó mediante el uso del reactivo molibdovanadato de amonio y espectrofotometría.

f) Determinación de humedad

El método consistió en evaporar mediante secado, el agua contenida en la muestra, en una estufa de 75°C hasta obtener peso constante.

2.9. Cosecha del bioabono

Después del proceso de compostaje, se cosechó el bioabono en saquetas, se midió la cantidad extraída en volumen, y se obtuvo el rendimiento (ver método en Anexo 5).

Finalmente se dió una presentación final en bolsas de polietileno transparente con una capacidad de 5 kg para los dos métodos aplicados (Takakura y Em-compost). También se dio una presentación en bolsa de polietileno para el composte semilla (método Takakura).

2.10. Diseño experimental para determinar estadísticamente el mejor método de compostaje

Para el análisis de estudio de la presente investigación se empleó un experimento de un factor bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones, por unidad experimental (Tabla 9). Para el procesamiento de los datos experimentales se utilizó el software SPSS 15.0 para Windows.

Factor:	Niveles
A. Método:	a1: Testigo
	a2: Takakura
	a3: Em-compost

Variables respuestas (Y_{ij})

: Tiempo de maduración (días)

: Rendimiento en %

Unidad experimental : Camas de compostaje

Modelo aditivo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- $i = 1, 2, 3$ (Nivel del factor)
- $j = 1, 2, 3$ (Repeticiones)

Además:

Y_{ij} : Tiempo de maduración del compostaje y rendimiento en el i -ésimo método y en la j -ésima repetición (cama de compostaje).

μ : Efecto de la media general.

T_i : Efecto del i -ésimo método

ε_{ijk} : Error experimental.

Tabla 9. Esquema experimental de los tratamientos

Métodos	Testigo	Takakura	Em-compost
Tratamientos	T0	T1	T2
R1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}
R2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}
R3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}

Fuente: Elaboración propia

Comparaciones Múltiples:

Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, se emplearon la PRUEBA DE DUNNETT con un nivel de confianza del 95%.

III. RESULTADOS

3.1. Tiempo de maduración del compost

En la Tabla 10 se muestra los resultados del tiempo de maduración del compost, según el tipo de tratamiento aplicado, tomando en cuenta los datos de pH y temperatura cuando estas se mantienen constantes (ver Anexo 7).

En el tratamiento 1 (método Takakura) se obtuvo un compostaje con menor tiempo de maduración, con un promedio de 57, 67 días; mientras que el testigo tuvo un tiempo de maduración de 212.67 días.

Tabla 10. Tiempo de maduración del compost, según método aplicado (en días)

Repeticiones	Testigo	Takakura	Em-compost
	T0	T1	T2
R1	216	57	61
R2	210	57	64
R3	212	59	61
Promedio	212.67	57.67	62.00

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis estadístico, el tiempo de maduración de las muestras tiene diferencia significativa entre el tratamiento T1 y el Tratamiento T0 al igual que entre los tratamientos T2 y T0 (ver Tabla 20 del Anexo 8); mientras que entre los tratamientos T1 y T2 no existe diferencia significativa en el tiempo de maduración evaluado (Tabla 21 del Anexo 8).

3.2. Rendimiento

En la Tabla 12 se muestra los resultados del rendimiento en porcentaje del compostaje según el método aplicado. Estos datos son el resultado de todo el proceso productivo hasta la obtención del compost maduro y su almacenamiento (ver Anexo 6).

Tabla 11. Rendimiento (%) del compostaje según Método aplicado

Repeticiones	testigo	Takakura	Em-compost
	T0	T1	T2
R1	13.54	19.47	19.97
R2	12.65	19.26	19.53
R3	13.98	18.60	20.19
Promedio	13.39	19.11	19.90

Fuente: Elaboración propia

3.3. Características fisicoquímicas en el proceso de compostaje

3.3.1. Color

El color en el método Takakura del compost maduro fue un poco más claro, que en el método Em-compost y el testigo, obteniendo un color café oscuro, mientras que los otros dos en el producto final obtuvieron un color más oscuro, casi negro.

3.3.2. Olor

El olor obtenido en los tres procesos, al final del compostaje, fue de un olor a tierra húmeda.

En la Tabla 11 se muestra el análisis que se realizó en el transcurso del proceso del compostaje hasta la estabilidad del proceso en cada método, cuyos resultados son promedios de tres repeticiones por análisis (ver Anexo 9).

Tabla 12. Resultados de los análisis evaluados en el proceso de compostaje

Análisis	Testigo				Takakura				Em-compost			
	21 días	45 días	70 días	223 días	21 días	45 días	70 días	223 días	21 días	45 días	70 días	223 días
% Materia orgánica	36,24	24,63	23,12	19,02	22,90	22,55	21,32	-	26,00	25,56	23,93	-
% C	20,14	13,68	12,85	10,57	12,72	12,53	11,84	-	14,44	14,20	13,29	-
% N	1,13	1,15	1,19	1,02	1,02	1,07	1,07	-	1,21	1,27	1,31	-
% P	0,82	0,86	0,52	0,44	0,59	0,83	0,62	-	0,66	0,97	0,54	-
C/N	17,78	11,87	10,76	10,40	12,45	11,74	11,03	-	11,94	11,20	10,12	-
pH	9,67	9,53	9,5	7,5	8,13	7,77	7,5	-	8,43	7,9	7,5	-
Conductividad eléctrica dS/m	8,57	7,59	7,04	4,23	6,40	5,29	4,85	-	16,40	6,92	5,02	-
% Humedad	67,00	65,60	61,02	42,11	50,34	47,57	46,65	-	61,34	55,13	53,77	-
Densidad aparente kg/m ³	342,27	359,60	389,59	494,85	392,80	403,20	479,74	-	394,27	406,73	468,37	-
Porosidad %	91,30	90,84	90,05	87,29	89,97	89,70	87,68	-	89,93	89,60	87,98	-
FAS %	72,53	71,16	68,80	60,51	68,55	67,73	61,70	-	68,43	67,45	62,59	-

Fuente: Elaboración propia
dS: decisiemens

IV. DISCUSIÓN

Los métodos Takakura y Em-compost obtuvieron un tiempo de maduración más rápido respecto al testigo, siendo el método Takakura el más óptimo con un promedio de 57,67 días, siguiéndole el Em-compost con un promedio de 62 días, ya que estos tratamientos en esta última etapa promedio mantuvieron una constante de pH y temperatura, aun a pesar de realizar volteos. IGES (2009) nos dice que el proceso de compostaje aplicando el método Takakura es de una a dos semanas, mientras que APROLAB (2007) en el método Em-compost nos da un rango de uno a dos meses para el proceso de compostaje. Éste incremento de tiempo en la investigación se debe al clima frío de la localidad, ya que un proceso de compostaje más rápido se da en lugares más cálidos, porque las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos (Peña y otros, 2002). También se debe a que no existió un picado de los residuos, lo que generó que la superficie de contacto entre los microorganismos y los desechos sea pobre (Sztern y Pravia, 1996).

El rendimiento del proceso de compostaje fue mayor empleando el método Em-compost con un porcentaje del 19.90 %, seguido por el método Takakura con un porcentaje del 19.11 %. Estos dos métodos no tuvieron diferencia significativa, comparado con el Testigo que obtuvo un rendimiento del 13,39 %, lo que quiere decir que la descomposición de los residuos fue más rápido gracias a la acción más eficiente de los microorganismos sobre la superficie de acción en los residuos.

En lo que respecta a la temperatura, se dio una evolución normal en el proceso de compostaje, la diferencia es que tanto para el método Takakura y el método Em-compost solo se realizaron dos volteos y se incrementó el volumen de la pila, siendo solo en el

primer volteo donde se volvió a notar el comportamiento de los microorganismos mesófilos, tal como lo dice Sztern y Pravia (1996), cuando manifiesta que la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica, donde las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes, por eso es necesario remover la pila ya que algunos microorganismos entran a una etapa de inhibición por falta de nutrientes en la parte del núcleo, y apoyando también a la aireación, provocando así que la secuencia de fases de temperatura se repitan más de una vez. En el segundo volteo para el método Takakura y Em-compost no se volvió a ver un comportamiento diferente de la temperatura, concluyendo así que se dio la estabilidad del compostaje. En el Testigo se realizaron 5 volteos, notándose en el último que se llegó a la estabilidad del proceso.

El pH fue también un indicador de estabilidad del compost, obteniéndose un promedio cercano a la neutralidad, con un pH de 7.5 tanto para los métodos Takakura y Em-compost como también para el testigo. Este rango de pH tendrá una incidencia directa sobre la disponibilidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, tanto el tiempo como en forma y además, influye en el valor de la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica; bajo condiciones de cultivo intensivo valores adecuados deben estar cercanos a la neutralidad o ligeramente ácidos (Moreno y Moral, 2008).

El porcentaje de materia orgánica en el método Em-compost en el último análisis (70 días) fue mayor que en el método Takakura, obteniendo un porcentaje del 23,93 %, mientras que el método Takakura obtuvo un porcentaje del 21,32 %. En el testigo, aunque tuvo mayor tiempo de maduración (223 días), obtuvo un porcentaje menor de materia orgánica de 19,02%. Según la Norma de calidad de compost Chilena (2000), nos dice que un compost

de calidad debe obtener un porcentaje mayor o igual a 25%, por lo que se puede observar que ninguno se encuentra en el rango de calidad. Pero esto también depende de la materia prima de compostaje inicial (ver Anexo 1), por lo que se puede determinar que el método Em-compost se encuentra más cercano al rango reglamentario, seguido por el método Takakura.

El porcentaje de carbono tanto para los dos métodos como para el testigo fue disminuyendo en el transcurso del proceso de compostaje, debido a la mineralización de la materia orgánica, pero comparado con los días de análisis en las muestras (21, 45 y 70 días) se ve una mayor estabilidad y constancia de este parámetro en los dos métodos, mientras que en el testigo todavía el proceso es inestable (ver Tabla 11), tal como lo dice Moreno y Moral (2006), que indica que el carbono se vuelve estable y constante cuando el compostaje llega a su fase de madurez.

En lo que respecta al nitrógeno, existe un incremento de este parámetro debido a su concentración, por motivo de la pérdida de peso (Walker, 1993). En los métodos Takakura y Em-compost el crecimiento es constante, pero en el Testigo existe una disminución de este componente con respecto al análisis realizado el día 223 (ver Tabla 11), esto puede ser debido a que se perdió hacia la atmósfera en forma de amoníaco, debido al incremento de la temperatura, ya sea por la anaerobiosis del medio, o ya sea porque los microorganismos todavía siguen degradando los residuos. Este fenómeno no afecta negativamente al proceso, sin embargo tiene una gran importancia desde el punto de vista de la contaminación y producción de malos olores que limitan la localización de las plantas de compostaje (Sánchez-Monedero y otros, 2001).

La relación C/N inicial teóricamente adecuado para el material de un producto es de entre 25 a 35 (Jhorar y otros, 1991), esto depende del material inicial del producto (ver Anexo 1). Finalmente la relación C/N de un compost estable y maduro debe ser cercana a 10, similar a la del humus. En la investigación el método Takakura obtuvo una relación C/N a los 21 días de 12.45, mientras que el método Em-compost tuvo una relación de 11.94, lo que es un indicador de la rapidez del proceso, ya que el testigo obtuvo una relación C/N de 17.78. Ya en el análisis final, tanto el método Takakura y el método Em-compost obtuvieron valores cercanos a 10 a los 70 días, con una relación de 11,03 y 10,12 respectivamente; mientras que el testigo obtuvo una relación de 10,40 a los 223 días, cuando se dio la estabilidad del proceso. Moreno y Moral (2008) nos dicen que la relación C/N tiene una gran dependencia de la riqueza inicial de N, por lo que un valor concreto de C/N no refleja el estado de madurez de un compost, por lo que es más indicado seguir la evolución de C/N del proceso o calcular la diferencia entre los valores iniciales y finales, para determinar el crecimiento.

Según Martínez y otros (2011), el porcentaje de fósforo en un compost maduro varía entre 0,1% – 1,0% (1g a 10g por Kg de compost), lo que indica que tanto los métodos de compostaje como el testigo están en el rango establecido.

La conductividad eléctrica no proporciona información específica sobre las clases de sales presentes, pero es un excelente indicador de la presencia de sales solubles que existen en el compost. Los altos contenidos de sales puede repercutir directamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo general del cultivo, todo dependiendo de la tolerancia de los cultivos a la salinidad, del tipo de suelo y de las pautas de riego (Moreno y Moral, 2008). Según la Norma de calidad de compost de la República de Chile, la cantidad de sales que deberían existir en un compost maduro es de ≤ 5 dS/m (Compost Clase A) y de 5-12 dS/m

(Compost Clase B). Según esta información tanto los métodos Takakura y Em-compost como el Testigo están en el rango de compost de clase A. La conductividad eléctrica debería aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes (Moreno y Moral, 2008), pero en la investigación en los dos métodos y en el testigo, ésta disminuyó. Este puede ser debido a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por la humectación excesiva de la misma (Moreno y Moral, 2008).

Según la norma UNE-EN 13040:2001, el porcentaje de humedad para un compost de calidad debe estar entre 35 – 45 %. Solo el testigo obtuvo un porcentaje en de 42,11%, mientras que en el método Takakura se obtuvo un porcentaje de 46,65 % y el método Em-compost obtuvo un porcentaje de 53,77%; los dos por encima del rango establecido. Pero Moreno y Moral (2008) dicen que la repercusión de un compost maduro por encima del 50% afecta solamente en el costo de transporte, mientras que compost por debajo del 35 % pueden no estar totalmente estabilizados por falta de humedad (existencia todavía de actividad microbiana).

La densidad tanto para los métodos Takakura y Em-compost como para el testigo, fueron aumentando, tal como lo dice Ábad y Puchades (2002), al afirmar que la densidad se incrementa con el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y una reducción del tamaño de las partículas. Según la norma UNE-EN 12580:2000, un compost maduro presenta una densidad aparente entre 400 y 700 kg/m³, lo que indica que todos los métodos se encuentran en este rango (Takakura, Em-compost y Testigo) como lo indica la Tabla 11.

La porosidad o el espacio poroso total es el volumen total del material no ocupado por partículas orgánicas ni minerales, un nivel adecuado de porosidad es aquel que se sitúa por encima del 80% en volumen (Martínez, 1992). Los dos métodos como el testigo estuvieron un rango aproximado de porosidad del 87% (ver Tabla 11).

El color en el método Takakura fue de un color café oscuro, mientras que en el método Em compost fue oscuro, casi negro. Esto es debido a que el método Takakura por ser un método que posee un porcentaje de tierra vegetal, éste le proporcionó ese color característico, mientras que en el método Em-compost al ser un compostaje puro, obtuvo un color oscuro, que es característico de un compost maduro.

En lo que respecta al olor, en el método Takakura y Em-compost no existió propagación de malos olores, mientras que en el Testigo existieron malos olores en el proceso, aproximadamente hasta los 90 días, esto debido a que no se daba una buena descomposición de los residuos, y que la actividad microbiana no era continua, generándose así putrefacción de los residuos y no dándose un proceso deseado de fermentación, incidiendo ésta a la aparición de moscas (IGES, 2009).

V. CONCLUSIONES

1. El método Takakura fue el proceso más rápido en lo que respecta a la madurez del compost, con un promedio de 57.67 días; seguido por el método Em-compost con un promedio de 62 días. El testigo presentó un proceso más lento, con un tiempo promedio de madurez de 212.67 días.
2. El porcentaje del rendimiento del compostaje fue mayor en el método Em-compost, con un promedio de 19.90%, seguido por el método Takakura con un promedio de 19.11%. El testigo obtuvo un rendimiento más bajo, con un porcentaje de 13.39%.
3. Tanto el método Takakura como el método Em-compost obtuvieron una constante de temperatura y pH más rápido que el testigo, demostrando así la eficacia de los métodos para obtener con mayor rapidez un compost maduro y de calidad.
4. Las características fisicoquímicas del compost maduro con el método Em-compost son: materia orgánica 23.93%, carbono 13.29%, nitrógeno 1.31%, fósforo 0.54%, relación C/N 10.12, pH 7.5, conductividad eléctrica 5.02 dS/m, humedad 53.77%, densidad aparente 468.37 kg/m³, porosidad 87.98%, espacio de aire libre (FAS) 62.59%, olor a tierra húmeda y color negrizo.
5. Las características fisicoquímicas del compost maduro con el método Takakura son: materia orgánica 21.32%, carbono 11.84%, nitrógeno 1.07%, fósforo 0.62%, relación C/N 11.03, pH 7.5, conductividad eléctrica 4.85 dS/m, humedad 46.65%, densidad aparente 479.74 kg/m³, porosidad 87.68% y espacio de aire libre (FAS) 61.70%, olor a tierra húmeda y color café oscuro.

6. Las características fisicoquímicas del compost maduro en el testigo son: materia orgánica 19.02%, carbono 10.57%, nitrógeno 1.02%, fósforo 0.44%, relación C/N 10.40, pH 7.5, conductividad eléctrica 4.23 dS/m, humedad 42.11%, densidad aparente 494.85 kg/m³, porosidad 87.29% y espacio de aire libre (FAS) 60.51%, olor a tierra húmeda y color negrizo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones empleando el compost obtenido como sustrato en plantones, viveros y semilleros, para poder ver los efectos que el compost puede tener sobre estas plantas. También se puede estudiar la dosificación, gestión agronómica y el manejo del compost aplicados en parcelas demostrativas de diversos cultivos.
2. Realizar métodos de análisis de calidad de compost más específicos como: respirometría (consumo de O_2 y emisión de CO_2), parámetros bioquímicos de actividad microbiana y fitotoxicidad; para tener datos que puedan reafirmar la seguridad del producto para su aplicación en la agricultura.
3. Elaborar un proyecto productivo, que enmarque el aspecto técnico y económico para la elaboración de una planta de compostaje, generando así un producto orgánico sostenible y sustentable, y sobre todo de calidad, que permita la producción y comercialización de esta materia al sector agrícola.
4. Realizar una investigación similar, pero con una materia prima mejor acondicionada, es decir, triturada, para poder determinar la velocidad del proceso en este tipo de medio. Por eso se recomienda contar con una trituradora.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC – Association of Official Analytical Chemist. 1990. Official Methods of Analysis. Vol. 1, Chapter 4, 15th Edition, Edited by Kenneth Helrich, Virginia, U.S.A. p. 69, 79.
- APROLAB. 2007. Programa de apoyo a la Formación Profesional para la inserción laboral en el Perú. Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Instructivo No. 001-2007. Perú.
- Bidlingmaier, W. 1996. Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. y Papi, T. (Eds.). The Science of Composting, vol. I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London.
- Brouillette, M., Trepanier, L., Gallichand, J. y Beauchamp, C. 1996. Composting paper mill deinking sludge with forced aeration. Canadian Agricultural Engineering, 38(2):115-122.
- Castaldi, P., Alberti, G., Marella, R. y Melis, P. 2005. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. Waste Manag., 25:209-213.
- Cronje, A., Turner, C. y Williams, A. 2003. Composting under controlled conditions. Environ. Technol., 24 (10):1221-1234.
- Díaz, M., Madejón, E., López, F., López, R. y Cabrera, F. 2002. Composting of vinasse and cotton gin waste by using two different systems. Resour. conserv. recycl., 34(4):235-248.

- Ekinci, K., Keener, H. y Elwell, D. 2004. Effects of aeration strategies on the composting process: Part 1. Experimental studies. *Trans. ASAE*, 47(5):1697-1708.
- Haug, R. T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Hedegaard, M. y Krüger, I. 1996. Composting of agricultural wastes in Denmark in respect of potential, industrial process technology and environmental considerations. En: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.). *The Science of composting*, vol I. pp. 691-697. Blackie Academic & Professional, London.
- IGES - Institute for Global Environmental Strategies. 2009. Programa de reducción de residuos mediante la promoción del compostaje de residuos orgánicos por el sistema KitaQ. Ed. JICA. Japón.
- Iglesias Jiménez, E. 2001. Nitrogen availability from a mature urban compost determined by the ^{15}N isotope dilution method. *Soil Biol. Biochem.*, 33:409-412.
- Iglesias-Jiménez, E. y Alvarez, C. 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biol. Fertil. Soils*, 16:313-318.
- INTEC. 1999. Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. *Manual de compostaje*. Editorial INTEC. 1era ed. Santiago de Chile - Chile.
- Jeris, J. y Regan, R. 1973. Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting. Part II, *Compost Science*, 14 (March-April):8-15.

- Jhorar, B., Phogat, V. y Malik, E. 1991. Kinetics of composting rice Straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.*, 5:297-306.
- JPEC Co., Ltd. Wakamatsu Environment Research Institute. 2005. *Basic Theory of Compost (Takakura Compost)*.

Disponible en: http://www.Jpec.com/Takakura_method.pdf. Consultado el 28 de Agosto de 2013.

- Kiehl, F. 1985. *Fertilizantes orgánicos*. Editora Agronómica Ceres Ltda. São Paulo-Brasil.
- Ley general de residuos sólidos. Ley N° 27314. Decreto supremo N° 057-04-PCM. 2004. Marco institucional de los residuos sólidos en el Perú. SINCO Editores. Lima- Perú.
- Madejón, E., Díaz, M. J., López, R. y Cabrera, F. 2001. Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used. *Biores. Technol.*, 76:275-278.
- Martínez, F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura*, 11:55-66.
- Martínez, M., Gutierrez V., Novo R. 2011. *Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos*. Ed. USM. Universidad Federico Santa María, Chile. 235p.

- Michel, F., Pecchia, J. y Rigot, J. 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or Straw. *Compost Sci. Util.*, 12(4):323-334.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2008. Informe anual de residuos sólidos municipales en el Perú. Editorial Perú Waste Innovation. Lima – Perú.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2012. Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y no Municipales. Editorial EVAGAM. Lima – Perú.
- Miyatake, F. e Iwabuchi, K. 2006. Effect of compost temperatura on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, 97:961-965.
- Moreno, J. y Moral, R. 2008. *Compostaje*. Editores Científicos. Madrid – España.
- Municipalidad provincial de Chachapoyas. 2012. Estudio de caracterización de residuos sólidos del distrito de Chachapoyas. División de medio ambiente, limpieza pública y ornato. Chachapoyas – Perú.
- Nakasaki, K., Nag, K. y Karita, S. 2005. Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. *Waste Manag. Res.*, 23(1):48-56.
- Naylor, L. 1996. *Composting*. Environmental and Science and Pollution series. 18(69): 193-269.

- Norma de calidad de compost. 2000. Comisión Nacional del Medio Ambiente – departamento descontaminación, planes y normas. Santiago – Chile.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. 2001. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Ed. FAO. Roma – Italia.
- Peña, E., Carrión, M., Martínez, F., Rodríguez, A. y Companioni, N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la Agricultura urbana. Edición INIFAT. La Habana – Cuba.
- Rodríguez, M. y Córdoba, A. 2006. Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. S y G editores. Coyoacán – México.
- Sánchez-Monedero, M, Roig, A., Paredes, C. y Bernal, M. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures, *Biores. Technol.*, 78(3):301-308.
- Saña, J. y Soliva, M. 1987. El compostatge: procés, sistemes i aplicacions. *Quaderns d'Ecologia Aplicada*. Servei del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 98 pp.
- Schmidt, I. Jonasson, S. y Michelsen, A. 1999. Mineralization and microbial immobilization of N and P in arctic soils in relation to season, temperature and nutrient amendment. *Appl. Soil Ecol.*, 11:147-160.

- Schulze, K. 1961. Aerobic decomposition of organic waste materials. Final report, Project RG-4180(C5RI). National Institutes of Health. Washington, DC.
- Shulze, K. 1962. Continuous Thermophilic Composting. *Appl. Microbiol.*, 10:108-122.
- Singh, C. y Amberger, A. 1990. Humic substances in Straw compost with rock phosphate. *Biol. Wastes*, 31:165-174.
- Stoffella, P. y Kahn, B. 2001. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona - España.
- Suler, D. y Finstein, S. 1977. Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ formation in Bench-Scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl, Environ. Microbiol.*, 33(2):345-350.
- Sztern, D. y Pravia, M. 1996. Manual para la elaboración de compost – Bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud OPS-Uruguay.
- Toffey, W. y Hentz, L. 1995. Measurement and control of odour and VOC emissions from the largest municipal aerated-static pile biosolids composting facility in the United States, pp 141-152. In: The 68th Water Environment Federation Annual Conference: Residuals and Biosolids Management. Miami-Florida, 21-25 October 1995.
- Van der Werf, P. y Ormseth, J. 1997. Measuring process parameters at an enclosed composting facility. *Biocycle*, 38(5):58-61.

- Walker, J. 1993. Control of composting odor, pp. 185 -218. En: H. A. J. Hoitink y H. M. Keener (eds.). Science and Engineering of composting and Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspect. The Ohio State University, Wooster, OH. EE.UU.
- Woods End Research Laboratories. 2001. Inc. Solvita. Quality Seal of Approval. Quality Coontrol Registration Program.
- Zhu, N. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.*, 97(15):1870-1875.
- Zucconi, F. y De Bertoldi, M. 1987. Specifications for solid waste compost. *Biocycle*, 28 (5/6):56-61.

ANEXOS

ANEXO 1

1.1. Composición del material inicial en el proceso de compostaje

Tabla 13. Composición de los residuos utilizados en el proceso

Material inicial	%C	%N	C/N	%MO	%P
Estiércol de ganado	36	1.97	18	52	0.85
Tuzas	53	0.52	102	45	0.19
Pancas	49	0.42	117	85	0.9
Cáscaras de yuca	40	0.31	129	59	0.36
Cáscaras de papa	25	1	25	-	-
Cáscaras de frejol	54	2	27	93	2.2
Cáscaras de frutas	52.9	1.52	34.8	36	0.9
Cáscaras de huevo	-	-	-	-	-
Aserrín	40	0.1	400	88	3.0
Cáscaras de maní	56	4	14	95	1.71
Hojas	40	1	40	71	0.25

Fuente: Peña y otros (2002)

Elaboración propia

**La cascara de huevo es una fuente muy importante de calcio*

ANEXO 2

2.1. Cantidad de residuos aplicados a cada cama experimental

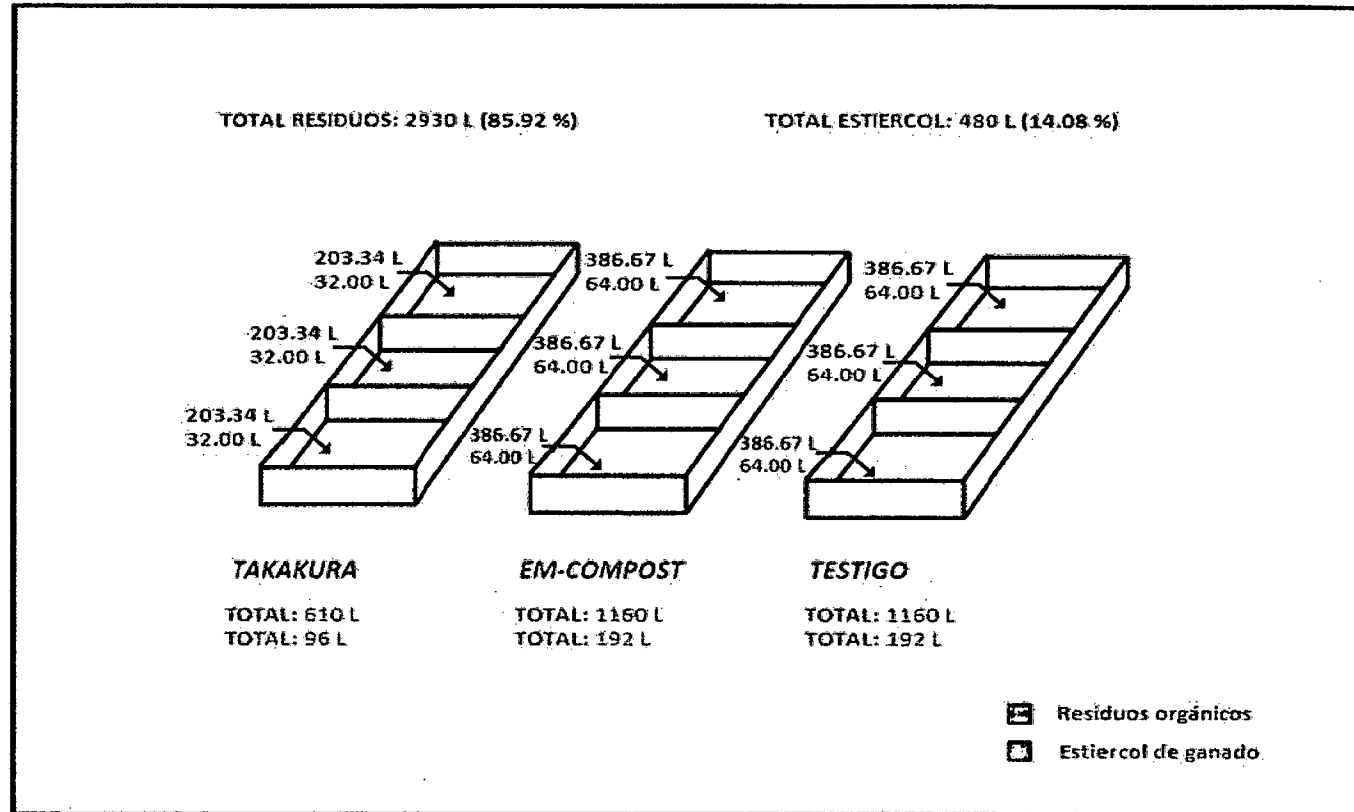


Figura 11. Cantidad de residuos aplicados en las camas experimentales

**El aserrín forma parte del porcentaje de los residuos orgánicos*

ANEXO 3

3.1. Preparación del composte semilla

El compostaje semilla para el compostaje del residuo orgánico se preparó utilizando los ingredientes comunes que contienen gran cantidad de microorganismos fermentativos.



3.1.1. Preparación de la solución de fermentación

Se recolectaron diferentes tipos de microorganismos fermentativos preparando las siguientes soluciones:

Azúcar morena: 500 g	}	A
Agua: 15 L		
Yogurt: 1 L		
Guarapo: 1. 750 L		
Sal: 250 g	}	B
Agua: 4 L		
Cáscaras y hortalizas: 6 L		

Bidón: 40 L

Balde: 13 L

- Se realizó la mezcla **A** en un balde y luego se colocó en el bidón con la ayuda de un embudo. El bidón es de 40 L y se tapó con una tapa hermética.

- Para la mezcla **B** se colocó los residuos de frutas y hortalizas, antes de hacerse la mezcla estos residuos fueron bien picados, para luego agregar el agua y posteriormente la sal. El balde se cubrió con una bolsa plástica y se amarró con una pita.

PAUTAS

- La bolsa/lámina de plástico utilizada para sellar puede hincharse debido a la emanación del gas de dióxido de carbono, pero no es una señal de fracaso.
- La mezcla tiene un olor/sabor dulce y agrio como el olor del alcohol cuando el proceso resulta satisfactorio. En cambio, la mezcla huele extraña y podrida cuando fracasa el proceso. En ese caso, reintente el procedimiento y utilice una mayor cantidad de sal si fue preparado con agua salada.

3.1.2. Preparación del lecho de fermentación

Requerimientos

Cascarilla de arroz: 1 saco (1 m³)

Maíz molido: 25 kg (0.35 m³)

Tierra vegetal: 2 carretillas (1 m³)

3.1.3. Mezcla de la solución de fermentación con el lecho de fermentación

Ver fotografía 23 hasta la fotografía 28.

Se elaboró una cama temporal de 1.3 x 1.3 m, se mezcló todos los ingredientes y se agregó agua hasta una humedad aproximada del 50 %.

El nivel de humedad se mantuvo entre 40-60 %, esto se determinó extrayendo una muestra de la pila con la mano y se exprimió ligeramente. Si la mezcla se convertía en una masa sin fuga de agua al exprimirse, se concluía que la humedad era correcta. Si la mezcla, al exprimirse, eliminaba un exceso de agua, se asumía una humedad mayor del 60%, mientras que si la mezcla perdía su forma y se desmenuzaba, se asumía una humedad escasa.

3.1.4. Fermento de la mezcla

Se apiló la mezcla en forma trapezoidal y cubrió con plástico de doble membrana para mantener la humedad e incrementar la temperatura, manteniéndola entre 60-80°C (si está demasiado caliente para introducir la mano, significa que está sobre los 80°C y es excesivamente caliente y si la temperatura excede de los 80°C, extienda la pila para liberar el calor). Cuando toda la superficie quedó cubierta con el moho blanco, fue un indicador que se completó la fermentación. La fermentación terminó alrededor de 12 días. Luego se puso a secar y se almacenó hasta la aplicación del proceso.

NOTA:

Al completarse el proceso de compostaje (es decir después de la aplicación del composte semilla a los residuos orgánicos en relación 1:1), una parte del compostaje seco es usado como compostaje semilla. No es necesario que cada vez se prepare el compostaje semilla nuevo debido a que el compostaje seco puede sustituirlo. El comportamiento de la fermentación se intensifica llenando continuamente y poco a poco el compostaje semilla nuevo.

ANEXO 4

4.1. Determinación de pH

- a) Disolver 10 g de muestra en 100 ml de agua destilada.
- b) Colocar el papel filtro en un embudo y se colocará encima de un matraz y colocará la solución a filtrar.
- c) Determinar el pH del filtrado, utilizando el potenciómetro.

4.2. Determinación de conductividad eléctrica

Obtención del extracto 1:5

- a) Calcular 40 g de muestra seca a 75°C, según:

$$A = \frac{40}{ST} \times 100$$

donde:

A = masa, en g, de muestra húmeda

ST = contenido de sólidos totales,

- b) Calcular el volumen de agua necesario para una relación muestra : agua =1:5, según

$$B = 200 - (A - 40)$$

donde:

B = volumen, en mL, de agua

A = masa, en g, de muestra húmeda

- c) Pesar la masa calculada en un frasco de 250 mL
- d) Agregar el volumen calculado en agua y tapar.

- e) Colocar en el agitador y agitar por 20 min a 180 golpes por minuto. Mantener la temperatura a 20-23°C.
- f) Centrifugar a 8000 g por 15 min.

Determinación de la constante de la celda

- a) Medir la conductividad eléctrica (CE) en soluciones de KCl (0.1 mol/L, 0.02 mol/L y 0.01 mol/L) de acuerdo a las instrucciones del fabricante del conductivímetro
- b) Calcular, para cada solución de KCl, la constante de la celda según:

$$K = \frac{CE_c}{CE_m}$$

donde:

K = constante de la celda

CE_e = CE específica, en dS/m (mS/cm), de una de las soluciones de KCl

CE_m = CE medida, en dS/m (mS/cm), de la misma solución de KCl

- c) Calcular el promedio de los valores de constante de la celda y ajustar a ese valor la constante de la celda del conductivímetro.

Nota

La constante de la celda promedio no debe diferir en más de un 5% del valor dado por el fabricante.

Medición de la conductividad eléctrica del extracto 1:5

- a) Medir la conductividad eléctrica del extracto **sin diluir**, corregida a 25°C, según las instrucciones del fabricante. Anotar los resultados en decisiemens por metro, dS/m.

Nota

La CE de los blancos no debe exceder de 0,01 dS/m (10 μS/cm). Si esto ocurre, repetir la obtención del extracto.

4.3. Determinación de materia orgánica (determinación de cenizas)

- a) Colocar el crisol en el desecador para que se enfríe.
- b) Pesar el crisol (W1)
- c) Pesar en el crisol una cantidad de muestra adecuada (W2).
- d) Una vez introducida la muestra a calcinar en el horno o mufla, se debe cerrar la puerta.
- e) Programar a una temperatura de 550°C.
- f) Retirar la muestra y dejar enfriar lentamente.
- g) Realizar un tercer pesado del crisol y la ceniza obtenida (W3)

Cálculos

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{W3-W1}{W2-W1} \times 100$$

Por lo tanto, el porcentaje de materia orgánica será:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = 100 - \text{Cenizas (\%)}$$

4.4. Determinación de carbono orgánico

Calcular la concentración de carbono orgánico, según:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = \text{MO}/1,8$$

donde:

MO = concentración, en %, de materia orgánica

4.5. Determinación de nitrógeno (método Kjeldhal)

Digestión

- a) Encender el equipo compacto de digestión MBC/02 y seleccionar a 420°C la temperatura de trabajo.
- b) Colocar dentro del tubo del equipo: 1g de muestra (W) + 5g de catalizador + 15 mL de ácido sulfúrico concentrado, respectivamente.
- c) Colocar el colector de humos y encender la campana extractora.
- d) Colocar los tubos al sistema calefactor cuando éste ha alcanzado la temperatura de trabajo.
- e) Esperar un tiempo de 45 minutos a 1 hora hasta que termine la digestión, el material contenido en el tubo se tornará de color verde esmeralda translucido, lo cual indicará el final de la digestión.
- f) Retirar los tubos del sistema calefactor y enfriar hasta aproximadamente 60-80°C.
- g) Agregar inmediatamente 75 mL de agua destilada.
- h) Dejar enfriar los tubos hasta temperatura ambiente.

Destilación

- a) Colocar el tubo de muestra en el soporte del destilador de nitrógeno DNP/2000.
- b) En un matraz de 250 mL agregar 25 mL de solución (ácido bórico + indicador mixto) y sumergir el tubo de salida del destilador.
- c) Programar en 2 minutos el reloj controlador de NaOH y presionar el botón START del equipo, se agregará automáticamente 80 mL de NaOH al tubo de muestra, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.

- d) Programar en 8 minutos el reloj controlador de DESTILACIÓN y presionar el botón START del equipo, automáticamente empezará la destilación de la muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.
- e) El producto de la destilación se deberá recoger en el matraz hasta un volumen de 150 mL, tomando una coloración verde claro.
- f) Programar en 10 minutos el reloj controlador de SUCCIÓN y presionar el botón START del equipo, automáticamente empezará la succión del residuo contenido en el tubo de muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo regresar el reloj a cero.
- g) Llenar el tubo de muestra con agua destilada y repetir el paso anterior.
- h) Retirar el matraz del equipo y realizar la titulación.

Titulación

- a) Llenar la bureta con HCl 0.25 N y realizar la titulación hasta un viraje de color palo rosa.

Cálculos

Se calculará el porcentaje de nitrógeno mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{0.014(V \cdot N)}{W} \times 100$$

donde:

N = normalidad

V = volumen gastado de HCl (mL)

W = Peso de muestra (g).

4.6. Determinación de fósforo

- a) Pesar con exactitud aproximadamente 2 g. de muestra en un crisol e incinerar en la mufla a 550 a 600°C de 4 a 6 horas.
- b) Enfriar el crisol con las cenizas en un desecador (por 20-30 minutos).
- c) Lavar las cenizas del crisol con un total de 40 ml. de solución de ácido clorhídrico 1:3, (lave 2 veces usando 2 porciones de 10ml del ácido cada vez, y lave una tercera vez usando los restantes 20 ml). Vacíe el contenido de los lavados en un vaso de precipitados de 250 ml, agregar de 6-8 gotas de ácido nítrico concentrado y calentar hasta ebullición.
- d) Transferir el contenido del vaso de precipitados a un matraz volumétrico de 100 ml, lave los residuos del vaso 3 veces con agua destilada (usando 15 ml cada vez) depositando los lavados en el matraz volumétrico.
- e) Afore el matraz volumétrico hasta 100 ml usando agua destilada. Deje enfriar y en caso de que sea necesario vuelva a aforarlo con agua destilada.
- f) Filtre el contenido del matraz de 100 ml. a un matraz de 200 ml., utilice un embudo de vidrio sobre el cual se haya colocado un papel filtro Whatman No.40. Afore con agua destilada y agite para homogenizar perfectamente el contenido.
- g) De la solución anterior tome 10 ml. con una pipeta volumétrica y transfíralos a un matraz volumétrico de 50 ml.
- h) Agregar 10 ml. de la solución de molibdo vanadato de amonio; afore el matraz con agua destilada y espere 10 minutos antes de efectuar la lectura.
- i) Leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm. ya sea en % de transmitancia o en densidad óptica.

- j) Anotar la lectura obtenida.
- k) Usar la gráfica de papel milimétrico elaborada por su instructor utilice la lectura del paso h para determinar a qué concentración de fósforo (en miligramos) equivale dicha lectura.

Cálculos

$$\% \text{ de Fósforo} = \frac{\text{miligramos de fósforo} \times \text{aforo final}}{\text{Alicuota} \times \text{peso de muestra (en miligramos)}} \times 100$$

Notas para los cálculos:

Los miligramos de fósforo se obtienen de la gráfica a que hace referencia el paso k

El aforo final se refiere al último volumen al cual se realizó la dilución del material original (o sea que representa el volumen especificado según el paso g de la práctica).

La alícuota hace referencia a la porción de la dilución que se tomó para realizar la determinación final (en este caso son los 10 ml del paso h).

4.7. Determinación de humedad

- a) Pesar una alícuota de 10 g de muestra preparada en un vaso tarado.
- b) Secar a 75°C en una estufa con aire forzado hasta masa constante.

Se entiende por masa constante a la masa alcanzada cuando, durante el proceso de secado, la diferencia entre dos pesadas sucesivas de la muestra fría, con un intervalo de 4 horas entre ellas, no excede del 0,1 % de la última masa determinada. Para la mayoría de las muestras, 18 a 24 horas son suficientes para alcanzar una masa constante.

- c) Colocar en un desecador y dejará enfriar a temperatura ambiente (30 min).

d) Retirar del desecador y pesará inmediatamente en una balanza analítica.

Cálculos

Calcular el contenido de agua, expresado en porcentaje en base a muestra húmeda, según:

$$\text{Agua (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100$$

donde:

Agua = contenido de agua en base a muestra húmeda

a = masa, en g, de la muestra húmeda

b = masa, en g, de la muestra seca a 70°C

4.8. Determinación de densidad aparente

Tomar un balón volumétrico de 200 mL, se tarará en la balanza analítica, se dejará caer libremente la muestra (tamizada) hasta completar el volumen del recipiente y se registrará el peso.

Cálculos

La densidad aparente expresada como gramos/mililitros de muestra se calculará aplicando la siguiente ecuación:

$$D = W / V$$

Donde:

D = Densidad de la muestra

W = Peso de la muestra en gramos

V = Volumen del recipiente en centímetros cúbicos

ANEXO 5

5.1. Rendimiento del proceso de compostaje

5.1.1. Balance de materia del método Takakura

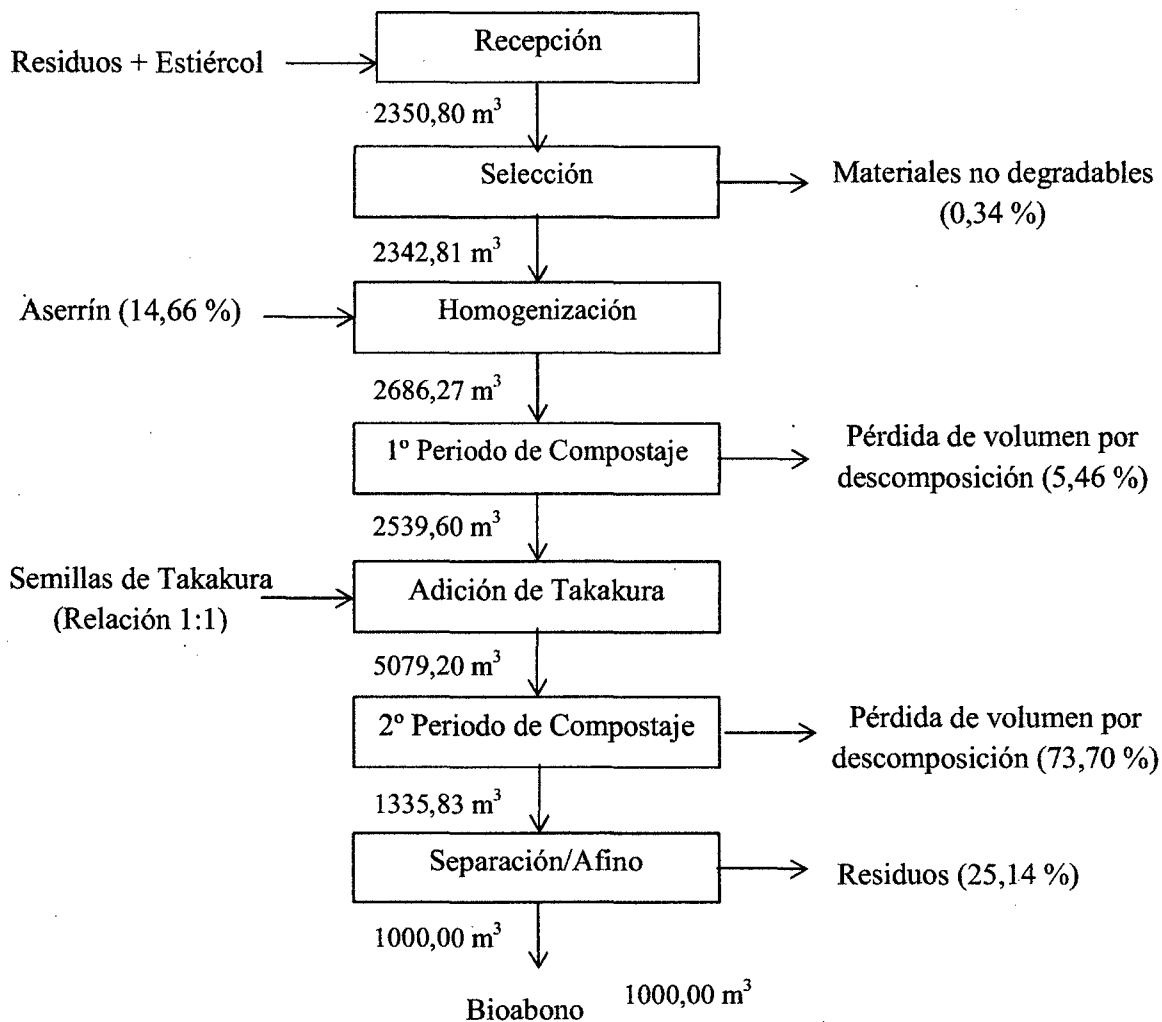


Figura 12. Balance de materia para la obtención de 1000 m³ de bioabono a partir de residuos y estiércol aplicando Método Takakura

Rendimiento Takakura %:

$$\% R = \frac{1000 \text{ m}^3}{2350.8 \text{ m}^3 + 0.1466(2350.8 \text{ m}^3) + 2539.6} \times 100$$

$$\% R = 19.11 \%$$

5.1.2. Balance de materia del método Em-compost

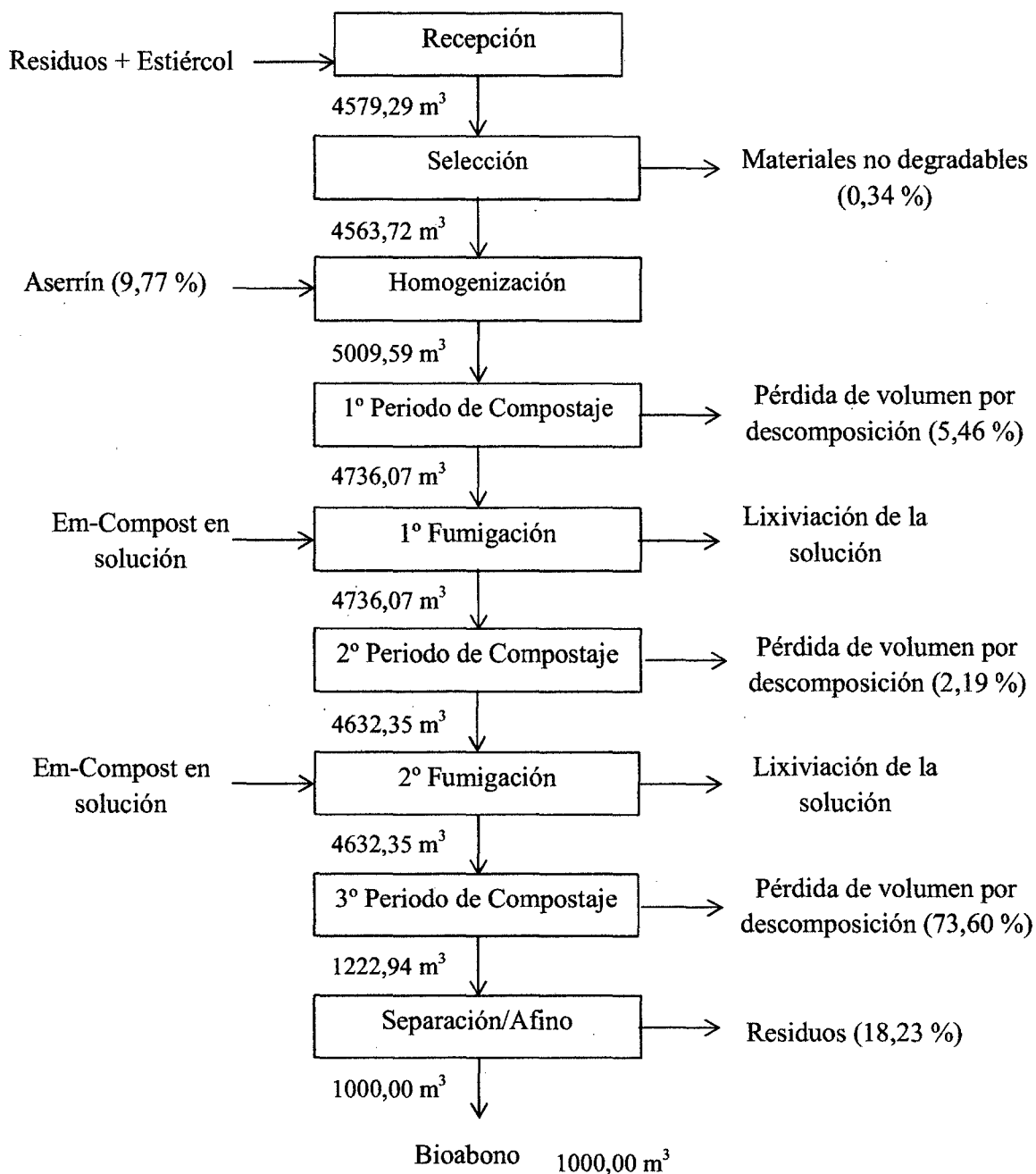


Figura 13. Balance de materia para la obtención de 1000 m³ de bioabono a partir de residuos y estiércol aplicando Método Em-compost

Rendimiento Em-compost %:

$$\% R = \frac{1000 \text{ m}^3}{4579.29 \text{ m}^3 + 0.0977(4579.29 \text{ m}^3)} \times 100$$

$$\% R = 19.90 \%$$

5.1.3. Balance de materia de la prueba testigo

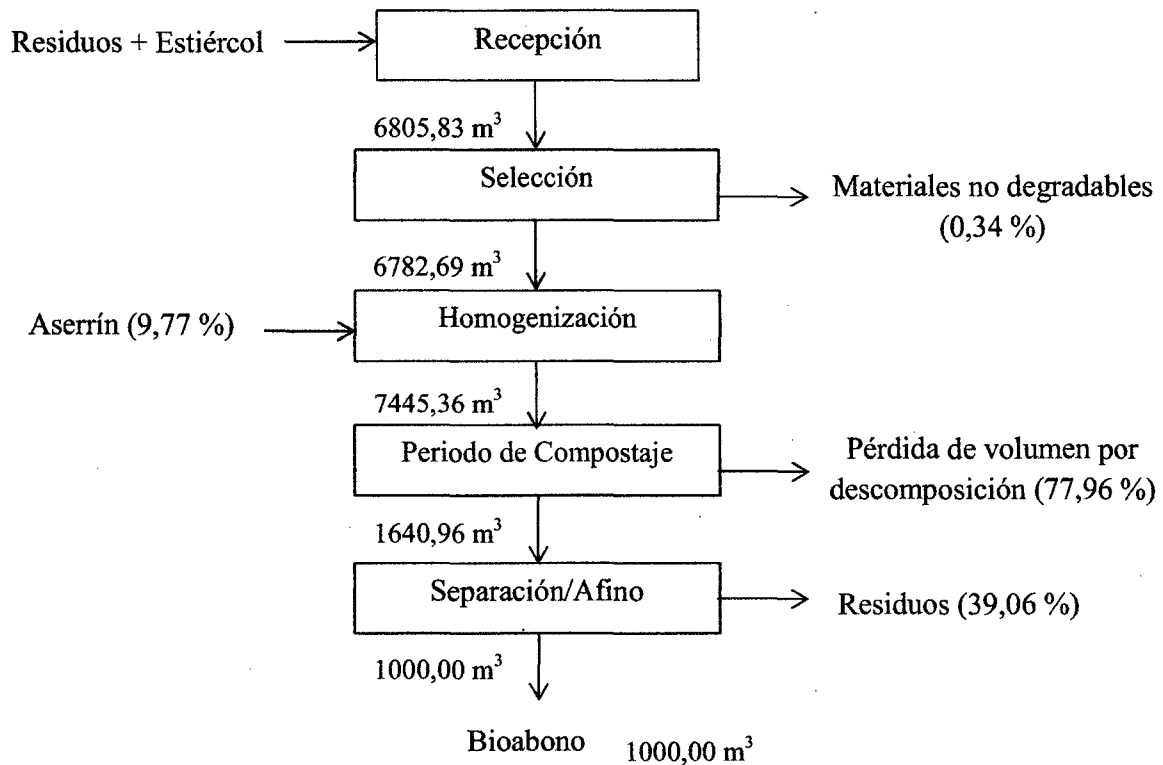


Figura 14. Balance de materia para la obtención de 1000 m³ de bioabono a partir de residuos y estiércol (Testigo).

Rendimiento Testigo %:

$$\% R = \frac{1000 \text{ m}^3}{6805.83 \text{ m}^3 + 0.0977(6805.83 \text{ m}^3)} \times 100$$

$$\% R = 13.39 \%$$

ANEXO 6

6.1. Análisis estadístico del rendimiento

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento (%)

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamiento	75,724	2	37,862	145,270	,000*
Error	1,564	6	,261		
Total corregida	77,288	8			

a R cuadrado = ,980 (R cuadrado corregida = ,973)

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Rendimiento (%)

t de Dunnet (bilateral)

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T1	T0	5,7218(*)	,41684	,000	4,5285	6,9151
T2	T0	6,5089(*)	,41684	,000	5,3156	7,7022

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

a Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como control y lo comparan con todos los demás grupos.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Rendimiento (%)

DHS de Tukey

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T0	T1	-5,7218(*)	,41684	,000	-7,0008	-4,4429
	T2	-6,5089(*)	,41684	,000	-7,7879	-5,2299
T1	T0	5,7218(*)	,41684	,000	4,4429	7,0008
	T2	-,7870	,41684	,222	-2,0660	,4919
T2	T0	6,5089(*)	,41684	,000	5,2299	7,7879
	T1	,7870	,41684	,222	-,4919	2,0660

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

Rendimiento (%)

DHS de Tukey

Tratamiento	N	Subconjunto	
		2	1
,00	3	13,3876	
1,00	3		19,1094
2,00	3		19,8964
Significación		1,000	,222

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = ,261.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000

b Alfa = ,05.

ANEXO 7

7.1. Comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de compostaje

7.1.1. Comportamiento del pH

a) Método Takakura

Tabla 14. Comportamiento del pH aplicando el método Takakura

Días	R1	R2	R3
1	8.5	8.0	8.5
3	7.5	7.0	7.5
5	8.0	8.0	8.0
7	8.0	8.0	8.0
10	8.0	8.0	8.0
12	8.0	8.0	7.5
15	7.5	7.0	7.5
17	8.0	7.5	7.5
19	8.0	7.5	7.0
21	8.1	8.0	8.3
26	8.0	8.0	8.0
31	8.0	7.5	7.5
36	7.5	7.0	7.5
40	8.0	7.0	7.0
45	7.7	7.6	8.0
57	7.5	7.5	8.0
58	7.5	7.5	7.0
59	7.5	7.5	7.5
61	7.5	7.5	7.5
64	7.5	7.5	7.5
68	7.5	7.5	7.5
70	7.5	7.5	7.5

Fuente: Elaboración propia

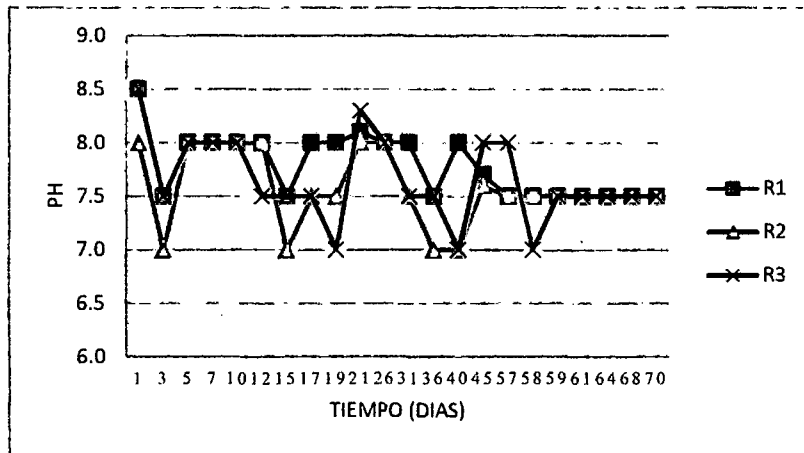


Figura 15. Comportamiento del pH con método Takakura

b) Método Em-compost

Tabla 15. Comportamiento del pH con el método Em-compost

Días	R1	R2	R3
1	8.5	8.0	8.5
3	7.5	7.0	7.5
5	8.5	9.0	8.5
7	8.0	8.0	8.5
10	8.5	9.0	8.0
12	7.5	7.5	7.5
15	8.0	7.5	7.5
17	7.0	7.5	8.0
19	7.5	8.0	8.0
21	8.5	8.4	8.4
26	8.5	8.5	8.0
31	8.0	8.0	7.5
36	8.0	7.5	7.5
40	7.0	7.0	7.0
45	8.1	7.9	7.7
57	8.0	8.0	8.0
61	7.5	8.0	7.5
62	7.5	7.5	7.5
63	7.5	8.0	7.5
64	7.5	7.5	7.5
65	7.5	7.5	7.5
68	7.5	7.5	7.5
70	7.5	7.5	7.5

Fuente: Elaboración propia

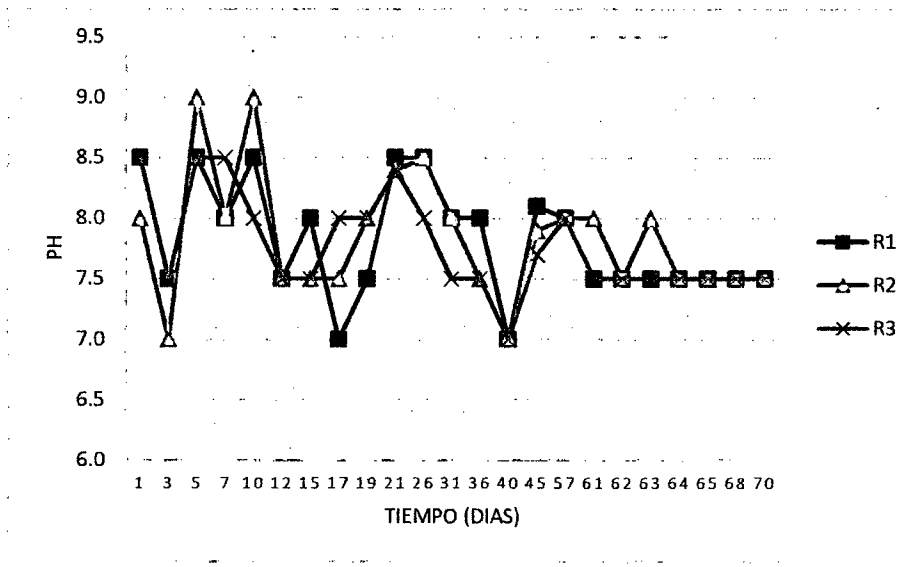


Figura 16. Comportamiento del pH con Em-compost

c) Testigo

Tabla 16. Comportamiento del pH con el testigo

Días	R1	R2	R3
1	8.5	8.0	8.5
3	8.5	8.0	8.0
5	7.0	7.5	7.0
7	8.5	9.0	8.0
10	8.0	8.0	8.0
12	8.0	8.0	9.0
15	8.0	8.0	8.0
17	9.0	8.0	9.0
19	9.0	8.0	8.0
21	9.8	9.7	9.5
26	9.0	9.0	9.0
31	9.5	9.0	9.0
36	9.0	8.0	8.0
40	8.5	8.5	8.0
45	9.5	9.6	9.5
57	8.0	8.0	8.0
61	8.5	8.0	8.0
64	9.0	8.5	8.0

Días	R1	R2	R3
68	8.5	8.0	8.5
70	9.6	9.7	9.2
80	8.8	8.0	8.4
90	8.7	9.0	9.0
100	8.7	8.6	8.3
115	8.7	8.6	8.3
130	9.5	8.6	9.0
145	8.6	9.0	8.2
160	9.5	8.7	8.2
175	9.0	9.5	9.0
190	8.5	8.7	8.1
200	9.0	8.0	9.0
205	8.0	8.5	8.0
210	8.0	7.5	8.5
211	7.7	7.5	8.0
212	7.5	7.5	7.5
215	8.5	7.5	7.5
216	7.5	7.5	7.5
217	7.5	7.5	7.5
220	7.5	7.5	7.5
223	7.5	7.5	7.5

Fuente: Elaboración propia

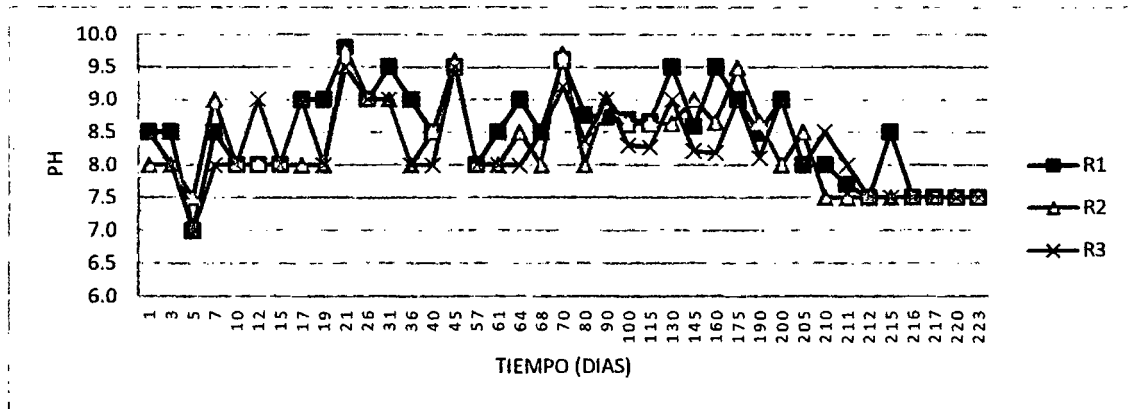


Figura 17. Comportamiento del pH en el testigo

7.1.2. Comportamiento de la temperatura

a) Takakura

Tabla 17. Comportamiento de la temperatura con el método Takakura

Días	R1	R2	R3
1	28	26	26
3	47	48	47
5	36	37	37
7	28	30	29
10	26	26	28
12	25	25	26
15	29	28	28
17	27	26	26
19	27	27	27
21	22	22	22
26	29	27	30
31	24	26	26
36	25	25	24
40	23	22	23
45	22	21	22
57	20	20	20
58	20	20	19
59	20	19	20
61	20	20	20
64	20	20	19
68	19	20	20
70	20	20	21

Fuente: Elaboración propia

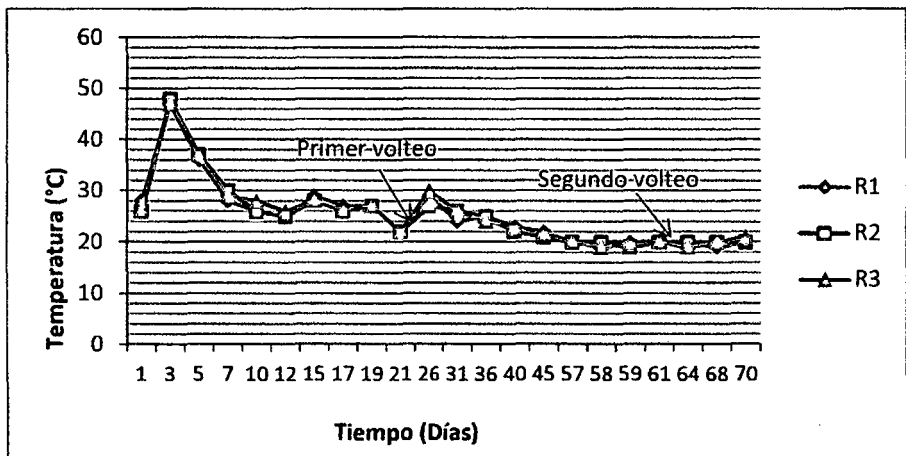


Figura 18. Comportamiento de la temperatura en el método Takakura

b) Em-compost

Tabla 18. Comportamiento de la temperatura en método Em-compost

Días	R1	R2	R3
1	28	26	26
3	48	48	47
5	37	38	37
7	31	32	31
10	26	27	28
12	25	25	26
15	29	29	29
17	26	26	27
19	26	26	28
21	22	23	22
26	30	32	32
31	26	27	26
36	24	25	25
40	22	22	23
45	22	22	22
57	21	23	21
61	20	20	19
62	20	21	19
63	20	21	20
64	20	20	19
65	20	20	19
68	20	20	20
70	20	20	19

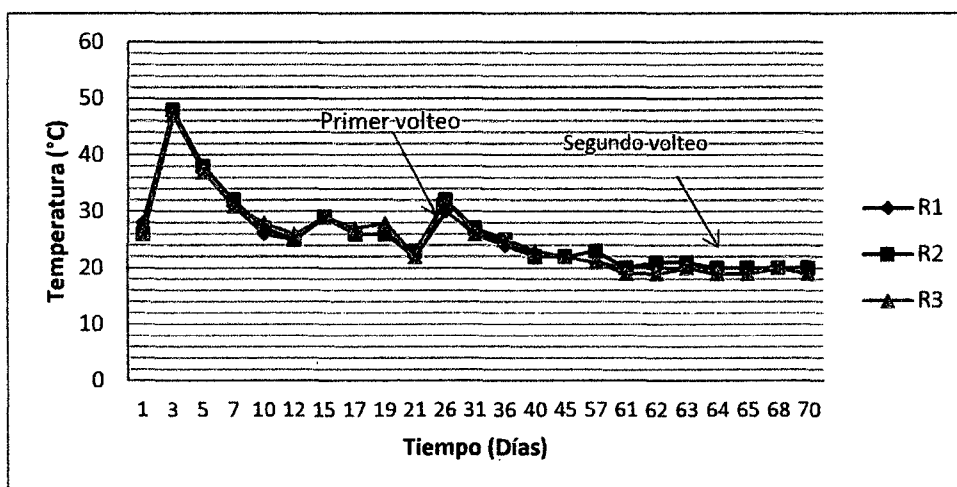


Figura 19. Comportamiento de la temperatura con el método Em-compost

c) Testigo

Tabla 19. Comportamiento de la temperatura en el testigo

Días	R1	R2	R3
1	28	26	26
3	47	48	49
5	36	38	32
7	28	35	27
10	27	26	27
12	27	25	25
15	29	29	26
17	27	26	26
19	27	26	25
26	26	26	25
31	37	34	30
36	29	34	34
40	26	26	25
45	24	24	23
57	24	23	22
61	23	22	22
64	32	29	30
68	27	27	26
70	25	24	25
80	22	23	22
90	25	26	26
100	24	24	24
115	23	23	24

Días	R1	R2	R3
130	23	23	24
145	22	21	22
160	25	26	24
175	24	23	23
190	23	22	23
200	23	21	22
205	23	21	22
210	22	20	21
211	22	20	21
212	21	20	20
215	21	20	21
216	20	20	20
217	20	21	21
220	20	21	20
223	21	20	20

Fuente: Elaboración propia

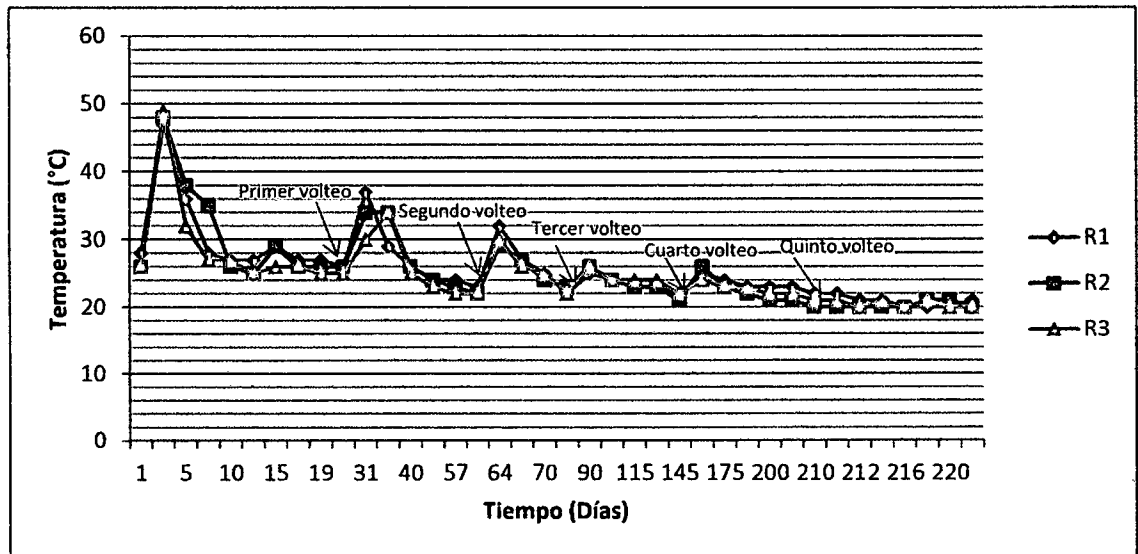


Figura 20. Comportamiento de la temperatura en el testigo

ANEXO 8

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Tiempo de maduración

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamiento	46744,222	2	23372,111	5130,463	,000**
Error	27,333	6	4,556		
Total corregida	46771,556	8			

a R cuadrado = ,999 (R cuadrado corregida = ,999)

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

** La diferencia de medias es altamente significativa al nivel ,05.

Comparaciones múltiples

Tabla 20. Variable dependiente: Tiempo de maduración

t de Dunnet (bilateral)

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T1	T0	-155,0000(*)	1,74271	,000	-159,9889	-150,0111
T2	T0	-150,6667(*)	1,74271	,000	-155,6556	-145,6777

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

a Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como control y lo comparan con todos los demás grupos.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Tiempo de maduración

DHS de Tukey

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
,00	1,00	155,0000(*)	1,74271	,000	149,6529	160,3471
	2,00	150,6667(*)	1,74271	,000	145,3196	156,0138
1,00	,00	-155,0000(*)	1,74271	,000	-160,3471	-149,6529
	2,00	-4,3333	1,74271	,104	-9,6804	1,0138
2,00	,00	-150,6667(*)	1,74271	,000	-156,0138	-145,3196
	1,00	4,3333	1,74271	,104	-1,0138	9,6804

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

Tabla 21. Tiempo de maduración

DHS de Tukey

Tratamiento	N	Subconjunto	
		2	1
T1	3	57,6667	
T2	3	62,0000	
T0	3		212,6667
Significación		,104	1,000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 4,556.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000

b Alfa = ,05.

ANEXO 9

9.1. Tabla de resultados de análisis fisicoquímico del proceso de compostaje

9.1.1. Takakura

Tabla 22. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje con el método Takakura

REPETICIONES	21 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	% Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	23.03	12.79	1.05	0.59	12.19	21.69	8.10	7.40	50.18	396.20	89.88	68.28
R2	22.34	12.41	0.96	0.59	12.93	21.04	8.00	6.40	48.11	395.20	89.91	68.36
R3	23.34	12.97	1.06	0.60	12.23	21.61	8.30	5.40	52.74	387.00	90.12	69.00
Prom.	22.90	12.72	1.02	0.59	12.45	21.44	8.13	6.40	50.34	392.80	89.97	68.55
REPETICIONES	45 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	22.33	12.41	1.07	0.89	11.59	13.94	7.70	5.72	50.77	398.20	89.83	68.12
R2	22.00	12.22	1.06	0.82	11.53	14.91	7.60	5.04	47.67	409.60	89.53	67.22
R3	23.32	12.96	1.07	0.78	12.11	16.61	8.00	5.12	44.26	401.80	89.73	67.84
Prom.	22.55	12.53	1.07	0.83	11.74	15.15	7.77	5.29	47.57	403.20	89.70	67.73
REPETICIONES	70 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	21.64	12.02	1.08	0.70	11.13	17.17	7.50	4.9	46.36	490.22	87.41	60.87
R2	20.96	11.64	1.06	0.82	10.99	14.20	7.50	4.63	46.91	483.67	87.58	61.39
R3	21.35	11.86	1.08	0.34	10.98	34.89	7.50	5.02	46.67	465.33	88.06	62.83
Prom.	21.32	11.84	1.07	0.62	11.03	22.09	7.50	4.85	46.65	479.74	87.68	61.70

Fuente: Elaboración propia

9.1.2. Em-compost

Tabla 23. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje con el método Em-compost

REPETICIONES	21 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	26.27	14.59	1.23	0.63	11.87	23.17	8.50	19.00	63.11	392.40	89.98	68.58
R2	26.27	14.59	1.21	0.68	12.06	21.46	8.40	15.80	60.28	397.00	89.86	68.22
R3	25.45	14.14	1.19	0.67	11.88	21.10	8.40	14.40	60.63	393.40	89.95	68.50
Prom.	26.00	14.44	1.21	0.66	11.94	21.91	8.43	16.40	61.34	394.27	89.93	68.43
REPETICIONES	45 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	27.58	15.32	1.29	1.04	11.88	14.73	8.10	8.12	56.21	404.20	89.67	67.65
R2	25.78	14.32	1.26	0.97	11.37	14.77	7.90	6.92	58.41	417.40	89.32	66.61
R3	23.33	12.96	1.25	0.89	10.37	14.56	7.70	5.72	50.77	398.60	89.82	68.09
Prom.	25.56	14.20	1.27	0.97	11.20	14.69	7.90	6.92	55.13	406.73	89.60	67.45
REPETICIONES	70 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	24.30	13.50	1.30	0.26	10.38	51.92	7.50	4.99	59.22	452	88.41	63.88
R2	23.67	13.15	1.31	0.64	10.04	20.55	7.50	4.96	46.78	493.22	87.33	60.63
R3	23.81	13.23	1.33	0.71	9.95	18.63	7.50	5.1	55.32	459.89	88.20	63.26
Prom.	23.93	13.29	1.31	0.54	10.12	30.37	7.50	5.02	53.77	468.37	87.98	62.59

Fuente: Elaboración propia

9.1.3. Testigo

Tabla 24. Resultados del análisis fisicoquímico durante el proceso de compostaje en el testigo

REPETICIONES	21 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	36.12	20.07	1.17	0.97	17.15	20.69	9.8	9.20	71.35	338.60	91.39	72.82
R2	35.52	19.73	1.12	0.97	17.62	20.34	9.7	7.80	67.28	335.20	91.48	73.09
R3	37.09	20.61	1.11	0.52	18.56	39.63	9.5	8.72	62.38	353.00	91.02	71.68
Prom.	36.24	20.14	1.13	0.82	17.78	26.89	9.67	8.57	67.00	342.27	91.30	72.53
REPETICIONES	45 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	25.45	14.14	1.21	1.10	11.69	12.85	9.50	8.60	69.79	353.80	91.00	71.62
R2	24.79	13.77	1.13	0.82	12.19	16.80	9.60	7.34	64.10	354.00	90.99	71.60
R3	23.64	13.13	1.12	0.67	11.73	19.60	9.50	6.82	62.91	371.00	90.54	70.27
Prom.	24.63	13.68	1.15	0.86	11.87	16.42	9.53	7.59	65.60	359.60	90.84	71.16
REPETICIONES	70 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	24.91	13.84	1.23	0.82	11.25	16.88	9.60	9.16	64.84	391.56	90.00	68.65
R2	22.17	12.32	1.15	0.37	10.71	33.29	9.70	6.64	59.3	397	89.86	68.22
R3	22.29	12.38	1.20	0.37	10.32	33.47	9.20	5.32	58.92	380.22	90.30	69.54
Prom.	23.12	12.85	1.19	0.52	10.76	27.88	9.50	7.04	61.02	389.59	90.05	68.80
REPETICIONES	223 DIAS											
	% M.O	%C	% N	% P	C/N	C/P	pH	c.e	%Humedad	Densidad	%Porosidad	%FAS
R1	19.21	10.67	0.99	0.59	10.78	18.09	7.50	4.28	40.9	494.22	87.30	60.56
R2	18.36	10.20	1.01	0.36	10.10	28.33	7.50	4.16	42.46	492.33	87.35	60.70
R3	19.49	10.83	1.05	0.36	10.31	30.08	7.50	4.25	42.97	498	87.20	60.26
Prom.	19.02	10.57	1.02	0.44	10.40	25.50	7.50	4.23	42.11	494.85	87.29	60.51

Fuente: Elaboración propia



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 12/07/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

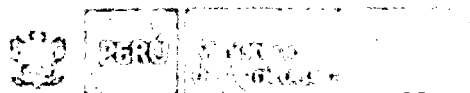
Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Em compost R 1	OS064-EEBI-13	8.5	19.0	26.27	1.23	0.63	*	--	63.11
Em compost R 2	OS065-EEBI-13	8.4	15.80	26.27	1.21	0.68	*	+	60.28
Em compost R 3	OS066-EEBI-13	8.4	14.40	25.45	1.19	0.67	*	--	60.63

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado.



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Inca Fulco A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 12/07/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Takakura R 1	OS067-EEBI-13	8.1	7.40	23.03	1.05	0.59	*	+	50.18
Takakura R 2	OS068-EEBI-13	8.0	6.40	22.34	0.96	0.59	*	+	48.11
Takakura R 3	OS069-EEBI-13	8.3	5.40	23.34	1.06	0.60	*	+	52.74

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario
** El equipo se encuentra malogrado



Jr. Wiracocha s/n - Baños del Inca - Cajamarca - Teléfono: 076- 348121; 076-348648
Fax: 076- 348386 E-mail: bincad@inia.gob.pe

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 12/07/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Testigo R 1	OS061-EEBI-13	9.8	9.20	36.12	1.17	0.97	*	--	71.35
Testigo R 2	OS062-EEBI-13	9.7	7.80	35.52	1.12	0.97	*	+	67.28
Testigo R 3	OS063-EEBI-13	9.5	8.72	37.09	1.11	0.52	*	--	62.38

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado



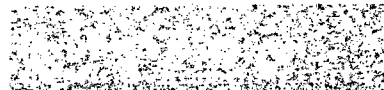
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGARIA
Estación Experimental Baños del Inca

Ing^o Tito A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS



PERÚ

Ministerio de
Agricultura y Riego



Estación Experimental
Agraria Baños del Inca

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

"Año Internacional de la Quinua"

"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUEN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 04/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
EM COMPOST R1	OS084-EEBI-13	8.1	8.12	27.58	1.29	1.04	**	--	56.21
EM COMPOST R2	OS085-EEBI-13	7.9	6.92	25.78	1.26	0.97	**	--	58.41
EM COMPOST R3	OS086-EEBI-13	7.7	5.72	23.33	1.25	0.89	**	--	50.77

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca

Ing. Tullio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS



PERÚ

Ministerio de
Agricultura y Riego

Estación Experimental
Agraria Baños del Inca

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUEN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 04/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
TAKAKURA R1	OS087-EEBI-13	7.7	5.72	22.33	1.07	0.89	**	--	50.77
TAKAKURA R2	OS088-EEBI-13	7.6	5.04	22.00	1.06	0.82	**	--	47.67
TAKAKURA R3	OS089-EEBI-13	8.0	5.12	23.32	1.07	0.78	**	--	44.26

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario
** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
[Signature]
Ing. Tulio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS



PERÚ

Ministerio de
Agricultura y Riego



Estación Experimental
Agraria Baños del Inca

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUEN FERNANDEZ

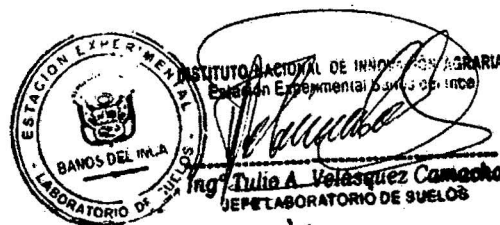
PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 04/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
TESTIGO R1	OS081-EEBI-13	9.5	8.60	25.45	1.21	1.1	**	--	69.79
TESTIGO R2	OS082-EEBI-13	9.6	7.34	24.79	1.13	0.82	**	--	64.10
TESTIGO R3	OS083-EEBI-13	9.5	6.82	23.64	1.12	0.67	**	--	62.91

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario
** El equipo se encuentra malogrado



LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas.

FECHA: 26/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
EM - Compost R1	OS095-EEBI-13	7.5	4.99	24.30	1.30	0.26	**	--	59.22
EM - Compost R2	OS096-EEBI-13	7.5	4.96	23.67	1.31	0.64	**	--	46.78
EM - Compost R3	OS097-EEBI-13	7.5	5.1	23.81	1.33	0.71	**	--	55.32

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Ing. Tullio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 26/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Takakura R1	OS098-EEBI-13	7.5	4.90	21.64	1.08	0.70	**	--	46.36
Takakura R2	OS099-EEBI-13	7.5	4.63	20.96	1.06	0.82	**	--	46.91
Takakura R3	OS0100-EEBI-13	7.5	5.02	21.35	1.08	0.34	**	--	46.67

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
[Signature]
Ing. Tullio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: 26/09/2013

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Testigo R1	OS092-EEBI-13	9.6	9.16	24.91	1.23	0.82	**	--	64.84
Testigo R2	OS093-EEBI-13	9.7	6.64	22.17	1.15	0.37	**	--	59.30
Testigo R3	OS094-EEBI-13	9.2	5.32	22.29	1.20	0.37	**	--	58.92

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario

** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
 Estación Experimental Baños del Inca
 Ing. Tutio A. Velásquez Camacho
 JEFE LABORATORIO DE SUELOS



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año Internacional de la Quinua"
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE : **ROBERTH ESTEVE ILIQUIN FERNANDEZ**

PROCEDENCIA : Amazonas - Chachapoyas

FECHA: **20/12/2013**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Tipo de Abono	Código Laboratorio	pH	c.e. ms/cm	M.O. %	N %	P %	K %	CaO %	Observaciones % humedad
Testigo R 1	OS091-EEBI-13	7.5	4.28	19.21	0.99	0.59	*	--	40.90
Testigo R 2	OS091-EEBI-13	7.5	4.16	18.36	1.01	0.36	*	+	42.46
Testigo R 3	OS091-EEBI-13	7.5	4.25	19.49	1.05	0.36	*	--	42.97

* La toma de muestras es responsabilidad del usuario
** El equipo se encuentra malogrado



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGROPECUARIA
Estación Experimental Baños del Inca

Ing. **Tito A. Velásquez Camacho**
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO 10

FOTOGRAFIAS DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS



Fotografía 1. Localización de las camas experimentales en el centro de compostaje de la Municipalidad - Chachapoyas



Fotografía 2. Terreno donde se construyeron las camas experimentales



Fotografía 3. Construcción de camas experimentales



Fotografía 4. Camas experimentales para el testigo



Fotografía 5. Camas experimentales culminadas



Fotografía 6. Llenado de las camas experimentales con cáscaras



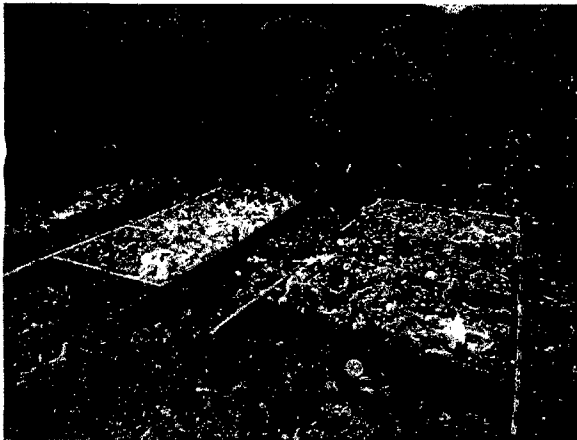
Fotografía 7. Llenado de las camas experimentales con residuos de frutas



Fotografía 8. Llenado de las camas experimentales con estiércol de ganado



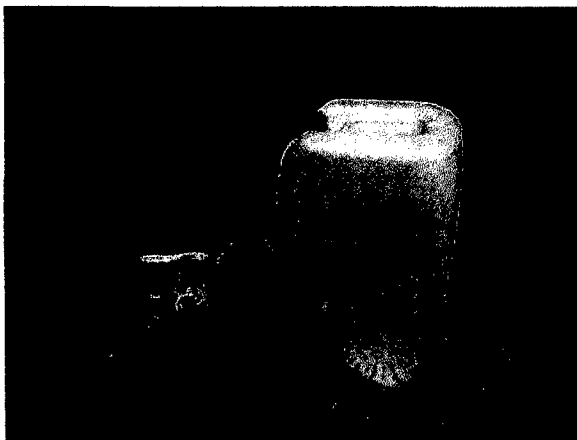
Fotografía 9. Remoción de residuos para el compostaje



Fotografía 10. Camas experimentales llenadas de residuos para el compostaje



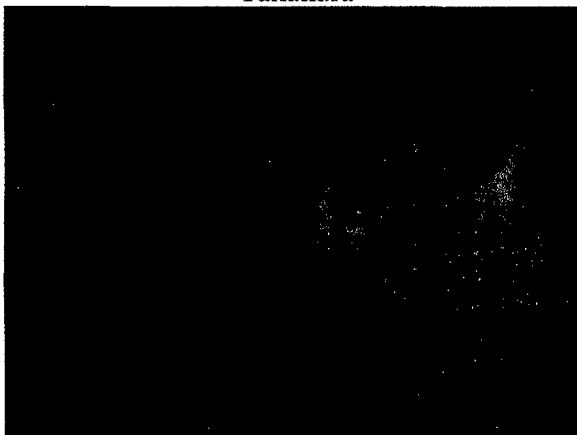
Fotografía 11. Camas experimentales cubiertas con aserrín



Fotografía 12. Materiales utilizados para solución de fermentación del método Takakura



Fotografía 13. Residuos de frutas y hortalizas utilizados para solución de fermentación mezcla A



Fotografía 14. Agregado de agua a mezcla A



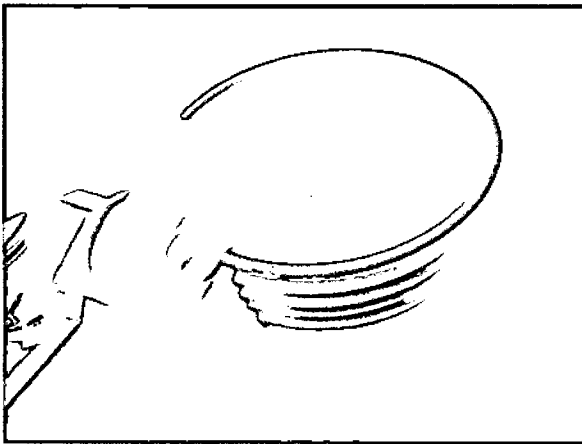
Fotografía 15. Agregado de sal a mezcla A



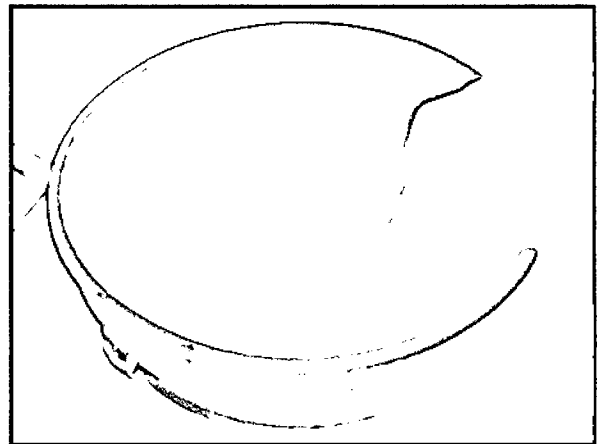
Fotografía 16. Agregado de agua a solución de fermentación mezcla B



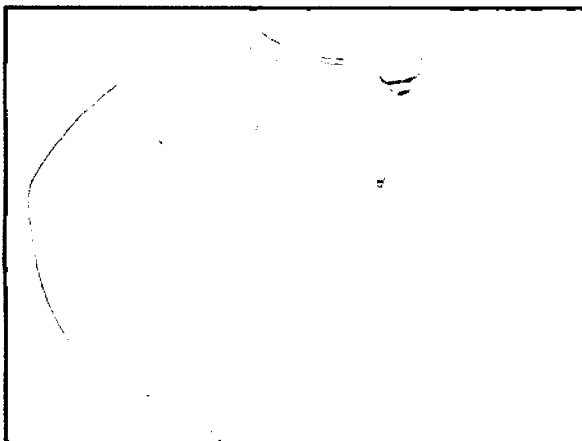
Fotografía 17. Agregado de guarapo a mezcla B



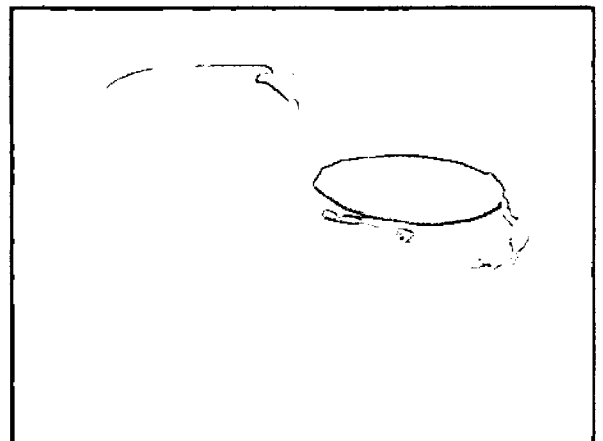
Fotografía 18. Agregado de yogurt a mezcla B



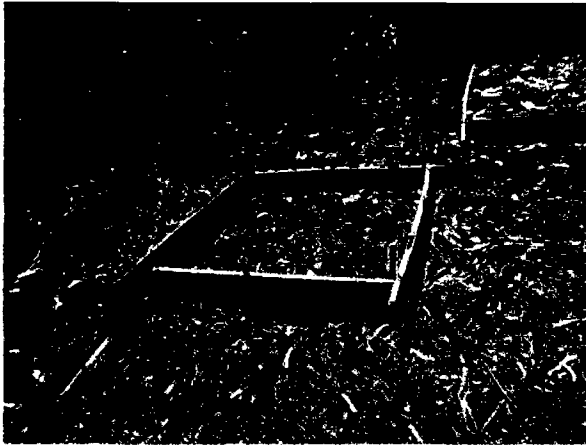
Fotografía 19. Mezclado de la mezcla B



Fotografía 20. Colocación de la mezcla B al bidón



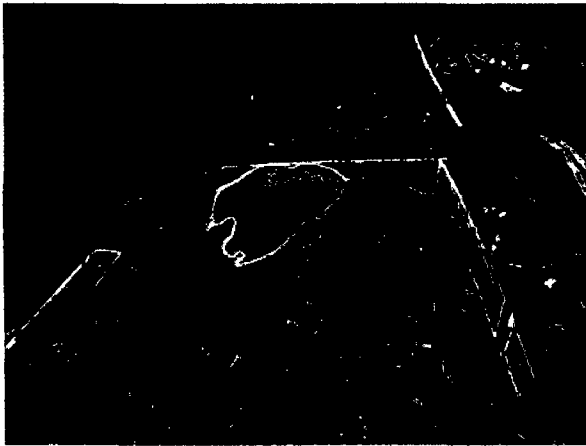
Fotografía 21. Solución de fermentación: mezcla A y mezcla B



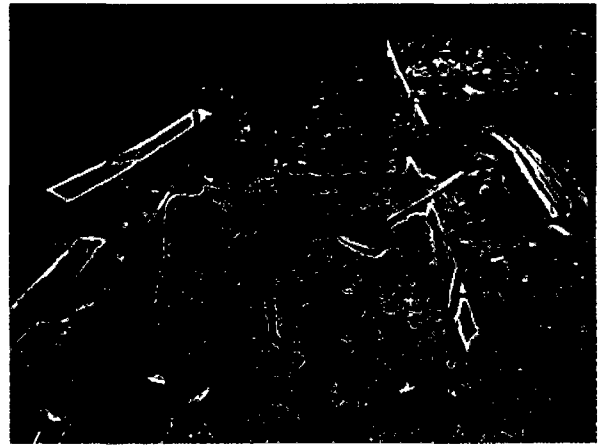
Fotografía 22. Cama para composte semilla



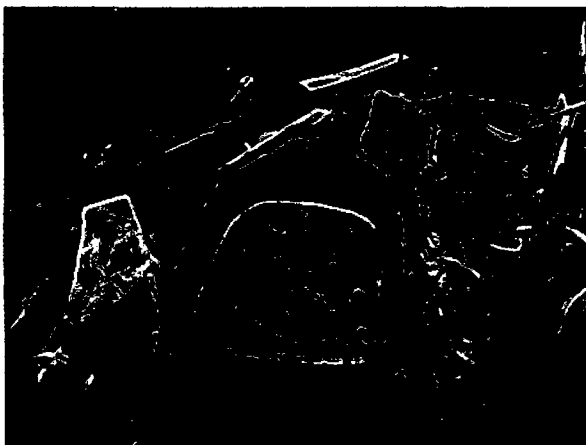
Fotografía 23. Materiales para elaboración del composte semilla



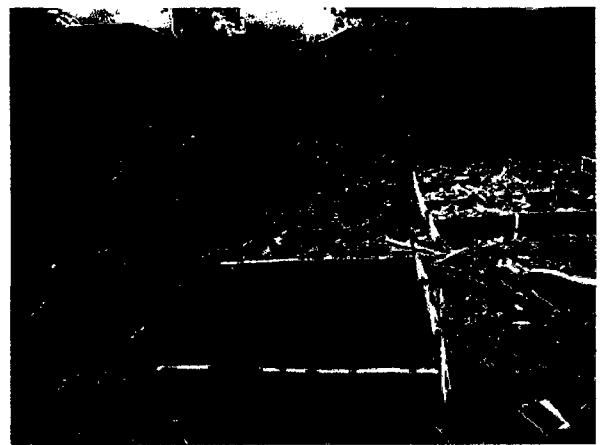
Fotografía 24. Preparación del lecho de fermentación



Fotografía 25. Mezcla de materiales del lecho de fermentación



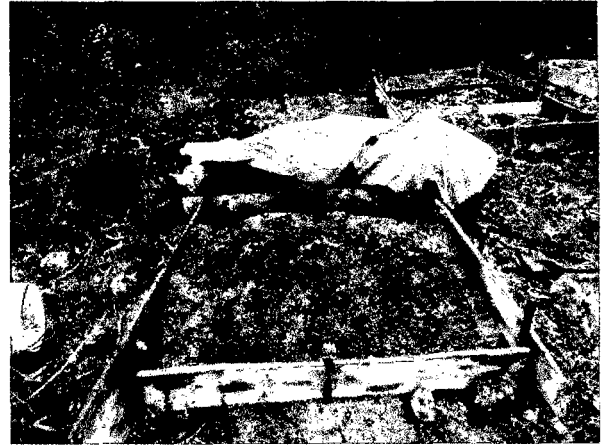
Fotografía 26. Mezcla de soluciones de la solución de fermentación



Fotografía 27. Preparación del composte semilla



Fotografía 28. Cubierta de cama del
composte semilla



Fotografía 29. Aparición del moho
blanco en el composte semilla



Fotografía 30. Materiales para
activación del Em-compost



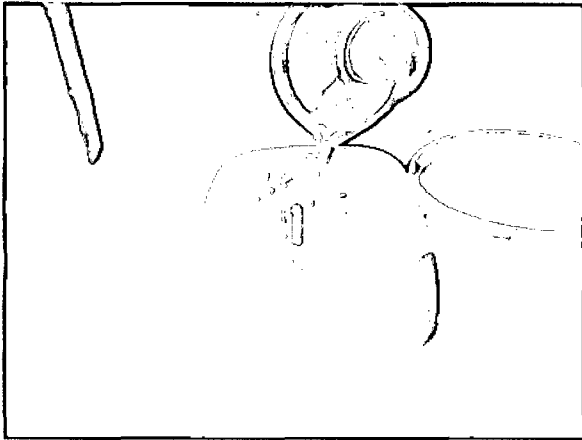
Fotografía 31. Agregado de la melaza
para el Em-compost



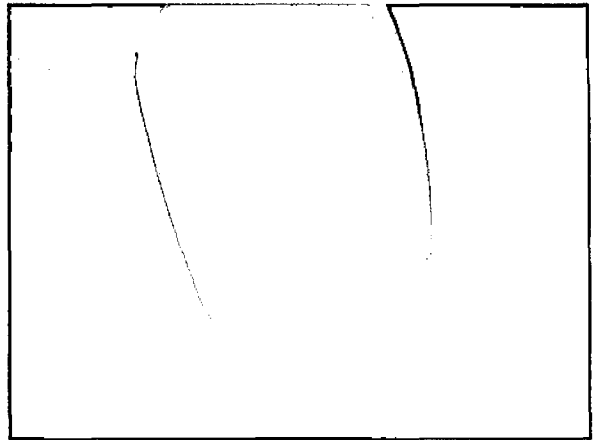
Fotografía 32. Agregado del Em-
compost mas el agua



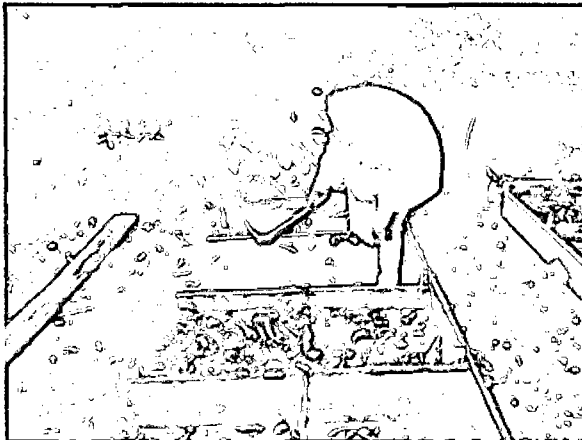
Fotografía 33. Mezclado de los
materiales para la activación del Em-
compost



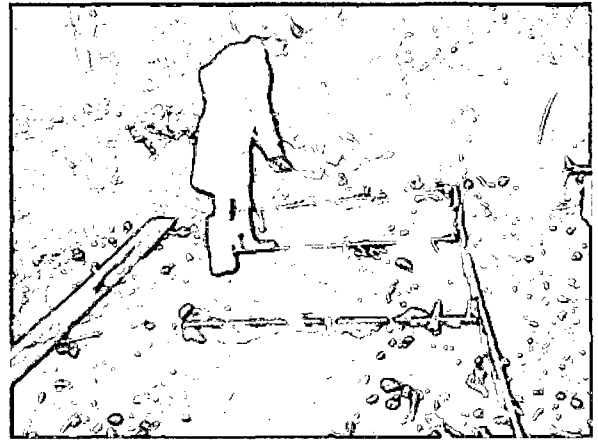
Fotografía 34. Aplicación de la mezcla Em-compost al bidón con cierre hermético



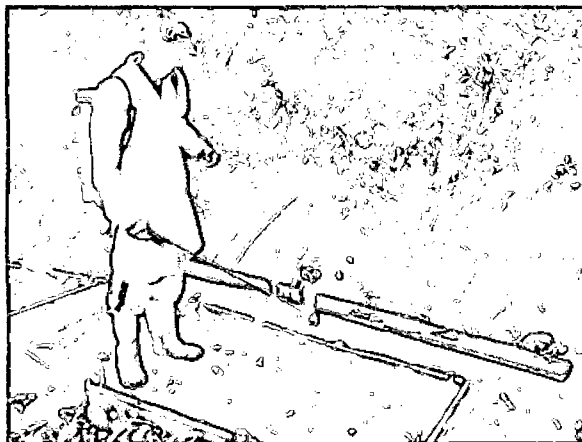
Fotografía 35. Em activado



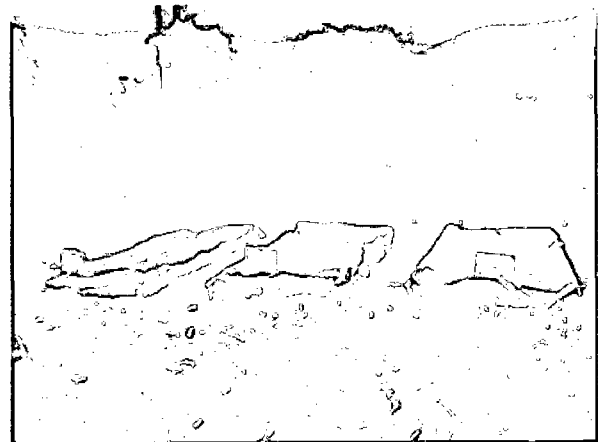
Fotografía 36. Volteo de los residuos



Fotografía 37. Aplicación del método Takakura en una relación 1:1



Fotografía 38. Primera aplicación del Em-compost



Fotografía 39. Cubierta de las camas experimentales



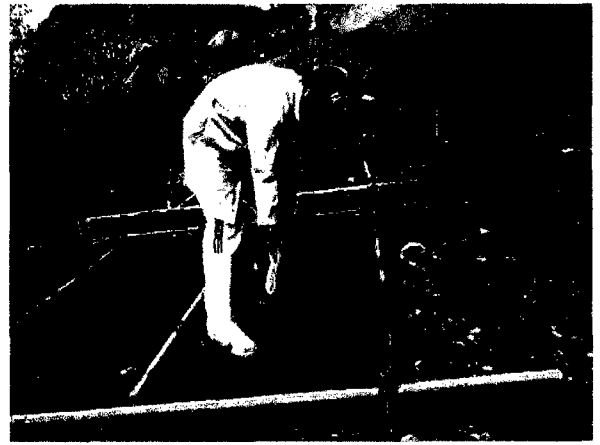
Fotografía 40. Medición de la temperatura



Fotografía 41. Colocación de la cinta de pH



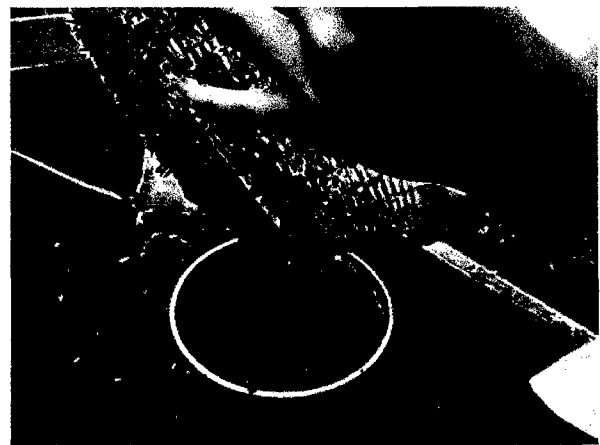
Fotografía 42. Medición del pH



Fotografía 43. Remoción de los residuos compostados



Fotografía 44. Segunda aplicación del método Em-compost



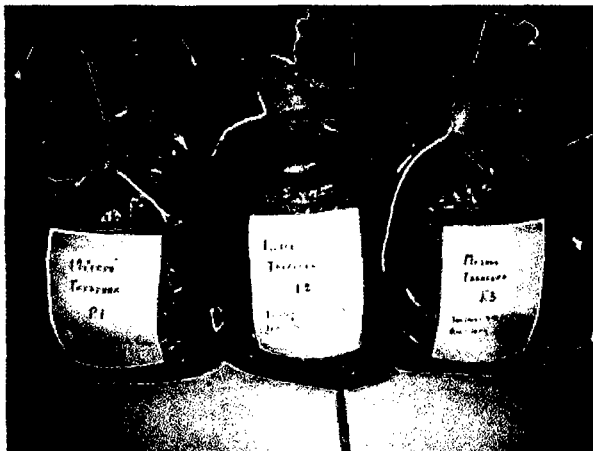
Fotografía 45. Tamizado para el sacado de las muestras para su análisis



Fotografía 46. Pesado de las muestras



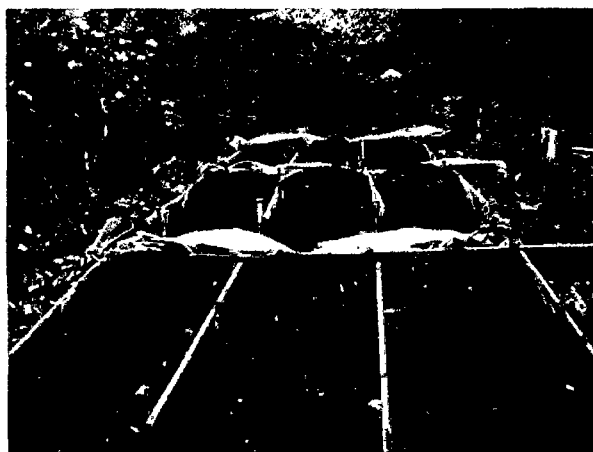
Fotografía 47. Pesado de las muestras embolsadas



Fotografía 48. Muestras listas para su análisis



Fotografía 49. Volteo de los residuos



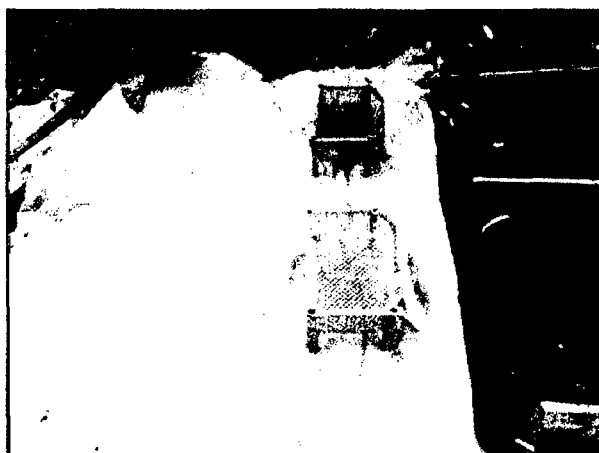
Fotografía 50. Aumento de volumen de la pila



Fotografía 51. Cubierta de la pila con plástico oscuro



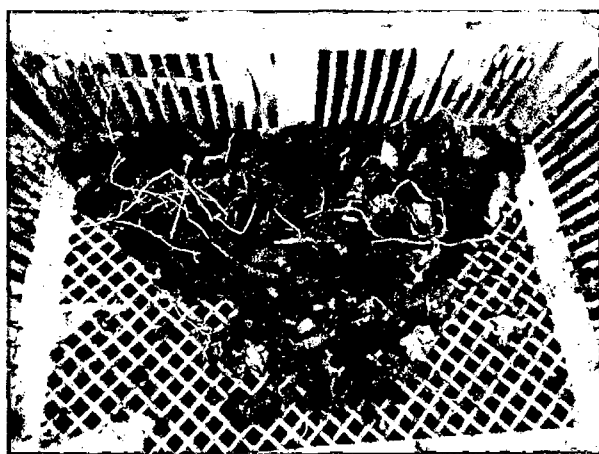
Fotografía 52. Preparación para la cosecha del compost



Fotografía 53. Materiales para el tamizado



Fotografía 54. Tamizado del compostaje



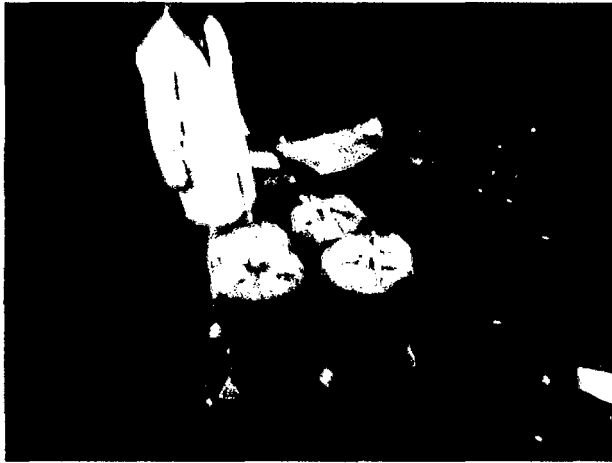
Fotografía 55. Restos de materiales no degradados



Fotografía 56. Medición del compostaje final



Fotografía 57. Ensacado del compost



Fotografía 58. Producto final



Fotografía 56. Compost de calidad